




UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa



Estudio y diseño de sensores textiles táctiles

Proyecto Final de Grado

Ricard Gené Carbó

Directores: Ignasi Gil Galí, Joan Antoni López Martínez

Grado en Ingeniería de Diseño Industrial y Desarrollo del Producto

Grado en Ingeniería de Tecnología y Diseño Textil

UPC - ESEIAAT

Titulación:

Grado en Ingeniería de Diseño Industrial y Desarrollo del Producto

Grado en Ingeniería de Tecnología y Diseño Textil

Alumno:

Ricard Gené Carbó

Enunciado TFG / TFM:

Estudio y diseño de sensores textiles táctiles

Director del TFG (Textil):

Ignasi Gil Galí

Director del TFG (Diseño Industrial):

Joan Antoni López Martínez

Convocatoria de entrega del TFG:

30 de Junio de 2020

Agradecimientos

Agradecer a la ESEIAAT y los docentes por los conocimientos transmitidos.

A mis tutores del proyecto, Ignasi Gil y Joan Antoni López, que me han guiado y ayudado
en todo momento gracias a sus conocimientos.

A mi familia y amigos, por el apoyo durante el viaje.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	20
Resumen.....	20
Abstract.....	20
Objetivos	21
Alcance.....	21
Requerimientos.....	22
Background.....	23
Organización.....	24
FASE DE INVESTIGACIÓN	25
Estado del arte.....	25
Clasificación.....	27
Hilos conductores.....	38
Hilo conductor experimental.....	49
Estudio del hilo conductor experimental.....	52
Propiedades eléctricas y electrónicas	52
Producción	59
Discusión	61
Conclusiones	63
TESTING	65
Metodología y software	65
Marco teórico	66
Software	67
Metodología	68
Ensayos de deformación uniforme.....	73

Geometría simple	73
Geometría compleja – Configuración 1.....	77
Geometría compleja – Configuración 2.....	81
Comparación	85
Ensayos de deformación local.....	87
Geometría simple	87
Geometría compleja – Configuración 1.....	91
Geometría compleja – Configuración 2.....	95
Comparación	99
Conclusiones	100
FASE DE DISEÑO	103
Investigación de mercado	103
Estudio de mercado.....	103
Mapa de competidores	110
Stakeholders.....	112
Tendencias	113
Estudio de patentes	114
Conclusiones.....	119
Selección del producto.....	120
Presentación de ideas	121
Análisis.....	128
Comparativa	146
Conclusiones	154
FASE DE DESARROLLO	156
Investigación de mercado específica.....	157
Sillas de ruedas	157

Accesorios y complementos	171
Mapa de competidores	175
Stakeholders.....	179
Tendencias	180
Estudio de patentes	181
Conclusiones.....	185
Normativa	186
Estudio ergonómico	188
Dimensiones.....	188
Posicionamiento de los sensores	192
Diseño definitivo.....	195
Definición del concepto.....	195
Dimensiones.....	198
Simulaciones	207
Electrónica	270
Textil	274
Conclusiones.....	277
Producción.....	279
Sensores	279
Electrónica	280
Textil	280
Integración	283
Análisis ambiental	285
Análisis de costes	286
Modelo de negocio.....	292
Conclusiones	296

PRESUPUESTO298

CONCLUSIONES300

FUTURAS MEJORAS303

BIBLIOGRAFÍA304

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Visión general de los campos de aplicación de los e-textiles [1]	25
Figura 2. Esquema del funcionamiento de un sensor	26
Figura 3. Esquema de un sensor capacitivo.....	28
Figura 4. Ejemplo de sensor capacitivo en forma de collar [2]	28
Figura 5. Esquema de un sensor inductivo	29
Figura 6. Esquema de un sensor piezoeléctrico	30
Figura 7. Ejemplo de aplicación de un sensor piezoeléctrico [2].....	31
Figura 8. Ejemplo de aplicación de un sensor piezoeléctrico [2].....	31
Figura 9. Esquema de un sensor óptico.....	32
Figura 10. Ejemplo de la aplicación de un sensor óptico [2]	33
Figura 11. Esquema de un sensor químico/bioquímico	34
Figura 12. Ejemplo de la aplicación de un sensor químico/bioquímico [2].....	34
Figura 13. Esquema de un sensor piezoresistivo	35
Figura 14. Ejemplo de aplicación de un sensor piezoresistivo [2].....	37
Figura 15. Ejemplo de aplicación de un sensor piezoresistivo [2].....	37
Figura 16. Estructura de nanotubos de carbono [2]	41
Figura 17. Estructura de la PANI [2]	42
Figura 18. Estructura de la PPy [2].....	43
Figura 19. Estructura de la Polythiophene [2]	43
Figura 20. Esquema del hilado en húmedo	44
Figura 21. Visión microscópica de la PANI [2]	45
Figura 22. Visión microscópica de la Polypyrrole [2].....	46
Figura 23. Visión microscópica de la Polythiophene [2].....	47
Figura 24. Gráficos de las propiedades mecánicas y eléctricas de las fibras conductoras.....	48
Figura 25. Conductividad del hilo según la concentración de APS [4]	50
Figura 26. Fuerza de rotura en función de la concentración de APS [4]	51
Figura 27. SMU Keithley 2636	53
Figura 28. Hilo conductor experimental.....	56
Figura 29. Esquema de la producción del hilo experimental [4]	60

Figura 30. Paquetes del CST [7]	67
Figura 31. Background de algodón en el programa CST	69
Figura 32. Ventana de la configuración del background de algodón en el programa CST ...	69
Figura 33. Ventana de la configuración del material del hilo conductor experimental en el programa CST	70
Figura 34. Esquema de la hipótesis de deformación	70
Figura 35. Aspecto de la simulación	71
Figura 36. Ventana de resultados del programa CST	72
Figura 37. Esquema de la geometría simple (unidades en mm).....	73
Figura 38. Comparación de la figura sin deformación y con deformación máxima en el CST	73
Figura 39. Gráfico resistencia-deformación de la geometría simple	75
Figura 40. Gráfico incremento resistencia-deformación de la geometría simple	75
Figura 41. Esquema de la configuración 1 de las geometrías complejas (medidas en mm) ...	77
Figura 42. Comparación de la figura sin deformación y con deformación máxima en el programa CST	78
Figura 43. Gráfico resistencia-deformación de la configuración 1 de las geometrías complejas	79
Figura 44. Gráfico incremento resistencia-deformación de la configuración 1 de las geometrías complejas	80
Figura 45. Esquema de la configuración 2 de las geometrías complejas (medidas en mm)...	81
Figura 46. Comparación de la figura sin deformación y con deformación máxima en el programa CST	82
Figura 47. Gráfico resistencia-deformación de la configuración 2 de las geometrías complejas.....	83
Figura 48. Gráfico incremento resistencia-deformación de la configuración 2 de las geometrías complejas	84
Figura 49. Gráfico comparativo de las tres geometrías estudiadas	85
Figura 50. Esquema de la geometría simple y el área de deformación local (dimensiones en mm)	87
Figura 51. Comparación de la figura sin deformación y con deformación local máxima en el programa CST	88

Figura 52. Gráfico resistencia-deformación de la geometría simple en deformaciones locales	89
Figura 53. Gráfico aumento resistencia-resistencia de la geometría simple en deformaciones locales	90
Figura 54. Esquema de la configuración 1 de las geometrías complejas y el área de deformación local (dimensiones en mm)	91
Figura 55. Comparación de la figura sin deformación y con deformación máxima local en el programa CST	92
Figura 56. Gráfico resistencia-deformación de la configuración 1 de las geometrías complejas con deformaciones locales	93
Figura 57. Gráfico aumento resistencia-deformación de la configuración 1 de las geometrías complejas con deformaciones locales.....	94
Figura 58. Esquema de la configuración 2 de las geometrías complejas y el área de deformación local (dimensiones en mm)	95
Figura 59. Comparación de la figura sin deformación y con deformación máxima local en el programa CST	96
Figura 60. Gráfico resistencia-deformación de la configuración 2 de las geometrías complejas con deformaciones locales.....	97
Figura 61. Gráfico aumento resistencia-deformación de la configuración 2 de las geometrías complejas con deformaciones locales.....	98
Figura 62. Gráfico comparativo de las tres geometrías estudiadas	99
Figura 63. Gráfico comparativo de la geometría simple	100
Figura 64. Gráfico comparativo de la configuración 1 de las geometrías complejas.....	101
Figura 65. Gráfico comparativo de la configuración 2 de las geometrías complejas.....	101
Figura 66. E-BRODER [9]	104
Figura 67. Prototipo del cojín de Ecus Sleep [10]	105
Figura 68. Prototipo INSTINTO [9]	106
Figura 69. Logo de SmartLife [11].....	107
Figura 70. Diseño de la app propuesta por Siren [12]	108
Figura 71. Calcetines y app propuestos por Sensoria [13].....	109
Figura 72. Mapa de competidores	111
Figura 73. Patente de un sensor textil [14]	114

Figura 74. Patente de un sensor textil [15].....	115
Figura 75. Patente de un sensor textil [16].....	116
Figura 76. Patente de un sensor textil [17].....	117
Figura 77. Patente de un sensor textil [18].....	118
Figura 78. Sketch de la esterilla sensorizada	130
Figura 79. Sketch de las bandas elásticas sensorizadas	132
Figura 80. Sketch de la silla de ruedas sensorizada.....	135
Figura 81. Sketch de la cama de hospital sensorizada.....	137
Figura 82. Sketch del asiento de coche sensorizado.....	139
Figura 83. Sketch del sillín de bicicleta sensorizado	141
Figura 84. Sketch del sofá domótico sensorizado	143
Figura 85. Sketch de la alfombra domótica sensorizada	145
Figura 86. Tiga sub4 [19].....	159
Figura 87. Hi Lite [19]	159
Figura 88. Krypton R [20].....	160
Figura 89. Helium Pro [20]	160
Figura 90. Elite X [19]	161
Figura 91. Gran Slam [19]	162
Figura 92. Match Point [20]	162
Figura 93. All Court [20].....	163
Figura 94. Simba [21]	164
Figura 95. Youngster 3 [21]	164
Figura 96. RubiX2 [21].....	165
Figura 97. Style [21]	166
Figura 98. Q700 F Sedeo Ergo [20]	167
Figura 99. Tango [20]	167
Figura 100. Frontier V6 [22].....	168
Figura 101. Extreme X8 [22].....	169
Figura 102. Salsa R ² [21].....	170
Figura 103. Salsa M2 [21].....	170
Figura 104. Protector de respaldo [23]	171
Figura 105. Protector lateral [23]	172

Figura 106. Cubresillas [23]	172
Figura 107. Núbolo Cell [24]	173
Figura 108. Núbolo Pro [24]	174
Figura 109. Núbolo Med [24]	174
Figura 110. Mapa de competidores de las sillas de ruedas.....	176
Figura 111. Mapa de competidores de los accesorios y complementos	177
Figura 112. Patente de un artículo que incorpora un sensor textil de presión [25].....	181
Figura 113. Patente de un artículo que incorpora un sensor textil de presión [26].....	182
Figura 114. Patente de un artículo que incorpora un sensor textil de presión [27].....	183
Figura 115. Patente de un artículo que incorpora un sensor textil de presión [28].....	184
Figura 116. Dimensiones antropométricas [29].....	189
Figura 117. Curva normal	190
Figura 118. Esquema de la hipótesis de detección	192
Figura 119. Tuberosidades isquiáticas [29]	192
Figura 120. Distribución de presiones en una silla [30].....	193
Figura 121. Esquema de la distribución de los sensores	194
Figura 122. Esquema del funcionamiento del cojín	195
Figura 123. Sketch del cojín.....	197
Figura 124. Dimensiones del sensor en mm	199
Figura 125. Dimensiones de la talla S del cojín en mm.....	201
Figura 126. Dimensiones de la talla M del cojín en mm	203
Figura 127. Dimensiones de la talla L del cojín en mm	205
Figura 128. Distribución de presión hacia adelante	207
Figura 129. Distribución de presión hacia atrás	208
Figura 130. Distribución de presión hacia la derecha.....	208
Figura 131. Distribución de presión hacia la izquierda	208
Figura 132. Distribución de presión hacia adelante y a la izquierda.....	209
Figura 133. Distribución de presión hacia adelante y a la derecha	209
Figura 134. Distribución de presión hacia atrás y a la izquierda	209
Figura 135. Distribución de presión hacia atrás y a la derecha	210
Figura 136. Esquema de la organización de los sensores en la talla S.....	212
Figura 137. Figura sin deformación y con deformación máxima	213

Figura 138. Gráfico resistencia-deformación de la talla S	215
Figura 139. Gráfico aumento resistencia-deformación de la talla S	216
Figura 140. Distribución de resistencias para la deformación Norte en la talla S.....	224
Figura 141. Distribución de resistencias para la deformación Sur en la talla S	224
Figura 142. Distribución de resistencias en la deformación Este para la talla S.....	225
Figura 143. Distribución de resistencias para la deformación Oeste en la talla S	226
Figura 144. Distribución de resistencias para la deformación Noreste en la talla S	226
Figura 145. Distribución de resistencias para la deformación Noroeste en la talla S.....	227
Figura 146. Distribución de resistencias para la deformación Sureste en la talla S.....	228
Figura 147. Distribución de resistencias para la deformación Suroeste en la talla S.....	228
Figura 148. Esquema de la organización de los sensores en la talla M	230
Figura 149. Figura sin deformación y con deformación máxima para la talla M.....	231
Figura 150. Gráfico resistencia-deformación para la talla M	234
Figura 151. Gráfico aumento resistencia-deformación para la talla M.....	235
Figura 152. Distribución de resistencias para la deformación Norte en la talla M.....	244
Figura 153. Distribución de resistencias para la deformación Sur en la talla M.....	244
Figura 154. Distribución de resistencias para la deformación Este en la talla M.....	245
Figura 155. Distribución de resistencias para la deformación Oeste en la talla M.....	245
Figura 156. Distribución de resistencias para la deformación Noreste en la talla M.....	246
Figura 157. Distribución de resistencias para la deformación Noroeste en la talla M.....	247
Figura 158. Distribución de resistencias para la deformación Sureste en la talla M.....	247
Figura 159. Distribución de resistencias para la deformación Suroeste en la talla M.....	248
Figura 160. Esquema de la distribución de los sensores en la talla L.....	250
Figura 161. Figura sin deformación y con deformación máxima en la talla L.....	251
Figura 162. Gráfico resistencia-deformación para la talla L.....	254
Figura 163. Gráfico aumento resistencia-deformación para la talla L.....	255
Figura 164. Distribución de resistencias para la deformación Norte en la talla L.....	264
Figura 165. Distribución de resistencias para la deformación Sur en la talla L.....	264
Figura 166. Distribución de resistencias para la deformación Este en la talla L.....	265
Figura 167. Distribución de resistencias para la deformación Oeste en la talla L.....	265
Figura 168. Distribución de resistencias para la deformación Noreste en la talla L.....	266
Figura 169. Distribución de resistencias para la deformación Noroeste en la talla L.....	267

Figura 170. Distribución de resistencias para la deformación Sureste en la talla L.....267

Figura 171. Distribución de resistencias para la deformación Suroeste en la talla L268

Figura 172. Placa Lilypad [31]271

Figura 173. Placa Flora [32]272

Figura 174. Diseño de la app móvil273

Figura 175. Esquema de un tejido de calada [33]275

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Hilos comerciales Bekaert [3].....	40
Tabla 2. Características de los hilos de PANI [2].....	45
Tabla 3. Propiedades de la Polypyrrole [2]	46
Tabla 4. Propiedades de la Polythiophene [2]	47
Tabla 5. Resultados de resistencia de los hilos conductores experimentales.....	55
Tabla 6. Comparación de los requerimientos de cada sensor	62
Tabla 7. Resultados de la simulación de la geometría simple	74
Tabla 8. Resultados de la configuración 1 de las geometrías complejas.....	79
Tabla 9. Resultados de la configuración 2 de las geometrías complejas	83
Tabla 10. Resultados de las deformaciones locales en la geometría simple.....	89
Tabla 11. Resultados de la deformación local de la configuración 1 de las geometrías complejas.....	93
Tabla 12. Resultados de la deformación local de la configuración 2 de las geometrías complejas.....	97
Tabla 13. Matriz comparativa	147
Tabla 14. Ponderación del valor	152
Tabla 15. Resultados de los sensores para la talla S	214
Tabla 16. Resultados de las deformaciones principales en la talla S.....	220
Tabla 17. Resultados de las deformaciones secundarias en la talla S.....	222
Tabla 18. Resultados de los sensores para la talla M.....	233
Tabla 19. Resultados de las deformaciones principales para la talla M.....	239
Tabla 20. Resultados para las deformaciones secundarias para la talla M.....	242
Tabla 21. Resultados de las deformaciones para la talla L.....	253
Tabla 22. Resultados para las deformaciones principales en la talla L.....	259
Tabla 23. Resultados para las deformaciones secundarias en la talla L.....	262
Tabla 24. PPR del primer escenario	288
Tabla 25. PPR del segundo escenario	290
Tabla 26. Modelo de negocio CANVAS.....	295
Tabla 27. Presupuesto del software empleado.....	298

Tabla 28. Presupuesto de los recursos humanos necesarios.....299

INTRODUCCIÓN

Resumen

En este proyecto se estudian las características y propiedades de un hilo conductor experimental desarrollado en la universidad de Shaoxing, en China, con el objetivo de evaluar la viabilidad de dicho hilo para actuar como un sensor.

Según los resultados obtenidos de dicho estudio, se tratará de implementar el sensor producido a partir del hilo experimental, en un producto capaz de resolver problemáticas y aportar valor al usuario.

Se abarcan diversos campos como, por ejemplo, estudios genéricos de los sensores textiles y del hilo experimental en cuestión, simulaciones electromagnéticas para observar su comportamiento, e incluso estudios de mercado y normativa para su implementación, entre otros.

Abstract

This project tries to study the properties and features of an experimental conductive yarn, developed in the Chinese university of Shaoxing, with the aim of evaluate the viability of this yarn to behave as a pressure sensor.

Depending on the results of the previous study, the sensor, made of the experimental yarn, would be implemented in a product capable of solving problems and add value to its user.

The project takes on different areas such as generic sensor studies, the yarn study itself, electromagnetic simulations in order to evaluate its behaviour, and even bench marketing and regulations for its implementation, among others.

Objetivos

Este proyecto tiene principalmente dos objetivos. Por un lado, determinar si el hilo conductor experimental, mencionado anteriormente, es viable para producir algún tipo de sensor, especialmente sensores táctiles o de presión. Por otro lado, y en relación directa con el primer objetivo, según la viabilidad obtenida por los diferentes estudios y simulaciones, diseñar un producto que incorpore dichos sensores pudiendo, de este modo, resolver problemáticas y aportar valor para el usuario final de dicho producto.

Para poder llevar a cabo dichos objetivos, se deberán realizar diversos estudios, tanto de contexto o background, como del propio hilo, así como todos los necesarios para poder realizar un buen diseño del producto.

Alcance

Las actividades a realizar que se han propuesto son las siguientes:

Estudio de los diversos tipos de sensores existentes actualmente y su aplicación y relación con el mundo textil.

- Estudio de los diversos tipos de hilos conductores existentes actualmente.
- Estudio de las propiedades del hilo conductor experimental, así como su producción.
- Estudio del comportamiento del hilo conductor experimental como sensor mediante softwares especializados.
- Estudio de mercado, patentes y normativa de los productos que incorporan sensores textiles parecidos al desarrollado a partir del hilo conductor experimental.
- Realización del diseño del producto según las conclusiones de todos los estudios anteriores.

A continuación, se muestra la estructura que seguirá el proyecto, para poder cumplir con todos los campos de estudio mencionados anteriormente:

- INTRODUCCIÓN: Se realizará una introducción del trabajo y el contexto actual en que se sitúa, en cuanto a sensores textiles se refiere.

- FASE DE INVESTIGACIÓN: Se realizará la búsqueda y análisis de información de todo el mundo que envuelve al hilo conductor experimental, así como los sensores. Las conclusiones extraídas sentarán las bases para el futuro diseño del producto.
- TESTING: Se realizarán las simulaciones necesarias para determinar la viabilidad del hilo conductor experimental para actuar como sensor, así como las propiedades que ofrece dicho sensor.
- FASE DE DISEÑO: Se realizarán los procesos necesarios para seleccionar el diseño final a desarrollar, teniendo en cuenta toda la información y conclusiones recabadas en los apartados anteriores.
- DESARROLLO DEL PRODUCTO: Una vez se determine el diseño final, se analizarán todas las fases y pasos a seguir para desarrollar el producto.
- CONCLUSIONES: Se analizarán los resultados obtenidos durante todo el proyecto y, se determinará la viabilidad del producto, así como se propondrán futuras mejoras.
- REDACTADO / MAQUETADO: Esta actividad será una constante durante todo el desarrollo del proyecto, ya que se irá redactando y maquetando a medida que se vaya obteniendo la información.

Requerimientos

Se trata de un proyecto de final de grado que debe incluir conocimientos de las dos titulaciones: Grado en Ingeniería de Diseño Industrial y Desarrollo del Producto y, Grado en Ingeniería de Tecnología y Diseño Textil.

La entrega del proyecto será el 30 de Junio de 2020.

Debido a la situación actual de pandemia por la COVID-19 se ha tenido que cambiar el enfoque del proyecto, pasando de un enfoque práctico que contaba con experimentación, a un enfoque teórico donde la parte práctica consiste en la realización de simulaciones electromagnéticas con las hipótesis desarrolladas a lo largo del proyecto.

El diseño y estudio del producto vendrá determinado por:

- Información contrastada acerca del hilo conductor experimental.
- Simulaciones virtuales con parámetros obtenidos de la información anterior.

- Estudio de mercado, patentes y normativas del campo de diseño seleccionado.
- Requerimientos técnicos y estéticos del campo de diseño, así como las hipotéticas limitaciones del hilo conductor experimental.

Todas las conclusiones y cálculos parten de una base teórica y tienen la función de comprobar las hipótesis planteadas.

Background

En el contexto social, cultural y tecnológico actual, se aprecia un creciente auge de los textiles inteligentes. Este tipo de textiles son capaces de llevar a cabo un incontable número de funciones que, hace unos años, eran impensables, como la medición de constantes fisiológicas, funciones domóticas e incluso aplicaciones en videojuegos, entre otras.

Gracias a la evolución de la tecnología en este campo, componentes electrónicos se han podido integrar en estructuras textiles con el objetivo de aportar nuevas funciones que mejoran la vida, en algún u otro sentido, del usuario.

Por este motivo y, aprovechando el auge de este sector, se están desarrollando componentes textiles con propiedades eléctricas y electrónicas intrínsecas, de modo que se están fusionando ambos mundos.

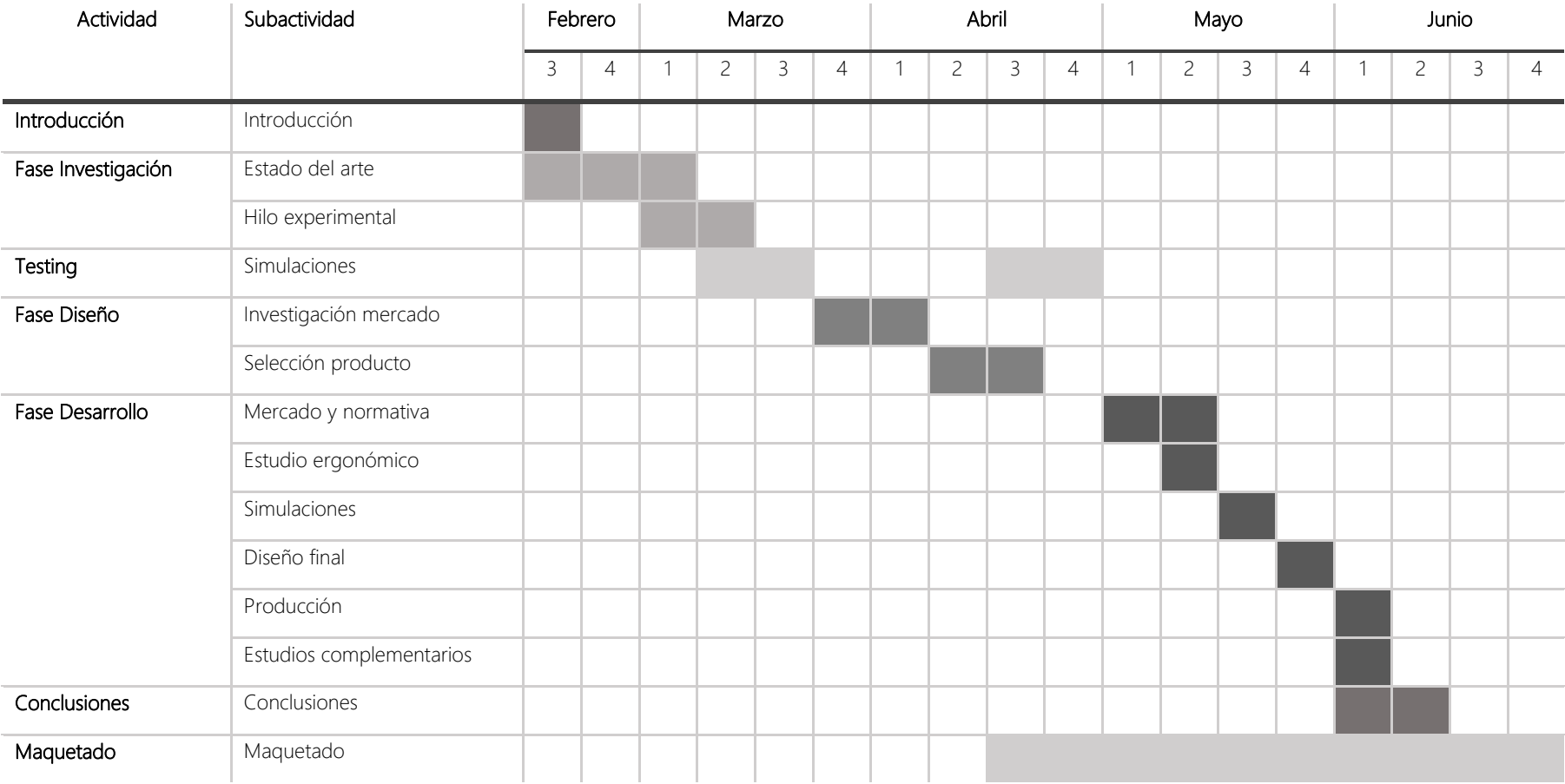
En este proyecto, se estudiarán las posibilidades de que esta fusión llegue a buen puerto, mediante el estudio de la viabilidad de la integración de un hilo conductor experimental como un sensor y, su posterior aplicación en un producto.

Todo este estudio, permitirá realizar un pequeño avance en la fusión de los elementos textiles y los electrónicos, para su posterior aplicación en productos reales que aporten valor al usuario o que resuelvan algún tipo de problemática.

Como se ha comentado anteriormente, debido a la situación actual, se hablará siempre desde un marco teórico e hipotético, ya que no ha sido posible realizar toda la experimentación necesaria para poder obtener conclusiones empíricas.

Organización

Se ha realizado un diagrama de Gantt para la planificación y organización del proyecto:



FASE DE INVESTIGACIÓN

Estado del arte

Los textiles constituyen una opción ideal como plataformas para dispositivos portátiles, ya que son flexibles, ligeros, y pueden ser llevados donde sea en diversas formas. Esta clase de textiles con capacidades electrónicas son llamados textiles electrónicos ("e-textiles"). Dependiendo del tipo de aplicación, estos textiles pueden ser capaces de percibir, procesar información, actuar, y acumular o generar energía. De entre todos estos, los sensores basados en textiles se han convertido en un área activa de investigación en el campo emergente de los e-textiles. Los sensores textiles proveen una interfaz entre el usuario y un sistema electrónico mediante la conversión de señales fisiológicas o ambientales a señales eléctricas. Estas prendas pueden ser capaces de monitorizar variables como tensión, presión, temperatura, desplazamiento, humedad, etc. Y pueden ser utilizados en diversos campos como la rehabilitación, deporte, seguridad, entre muchos más, como se muestra en la Figura 1:

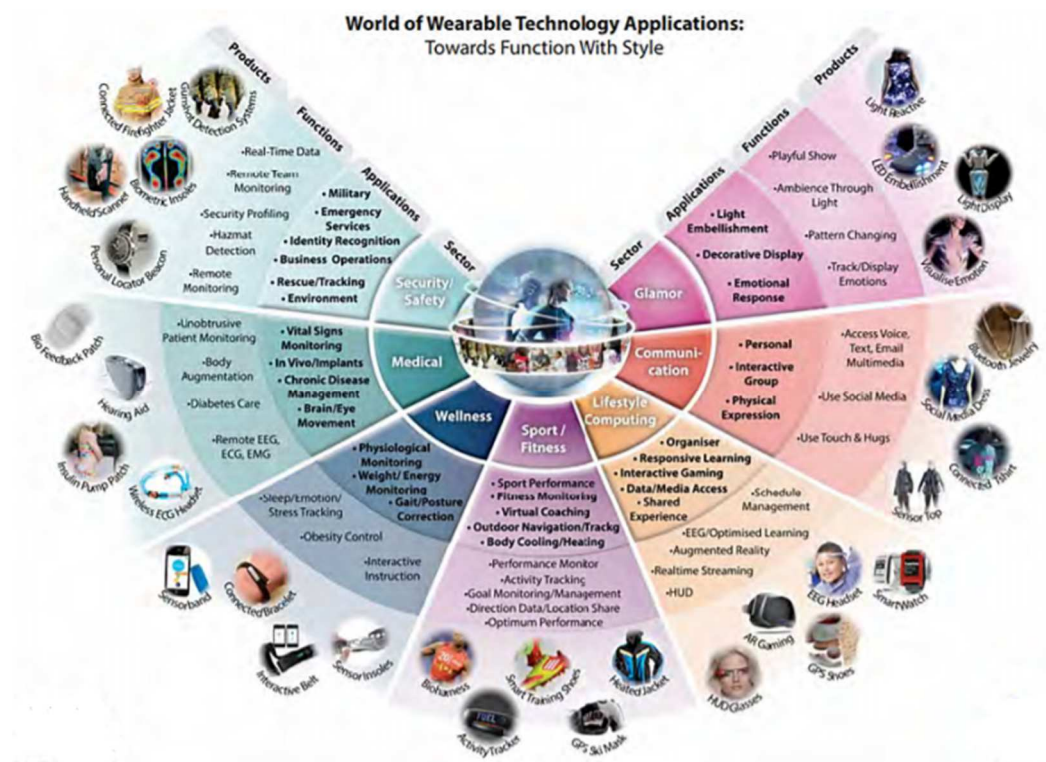


Figura 1. Visión general de los campos de aplicación de los e-textiles [1]

Esta sección aporta una visión de los sensores textiles capaces de captar señales fisiológicas y mecánicas.

Los sensores son transductores capaces de convertir estímulos mecánicos, químicos, ópticos, entre otros, a señales eléctricas significativas. En otras palabras, los sensores son capaces de medir y convertir la dimensión de una variable física a una señal eléctrica. Dependiendo del sistema, los estímulos estudiados son los mencionados anteriormente, mientras que la salida puede ser medida en voltaje, intensidad o resistencia.

Los sensores dispuestos en espacios cerca del cuerpo humano, también llamados “peripersonales”, pueden dar información vital necesaria para las tecnologías de asistencia sanitaria, entre otras. Obviamente, la ropa provee la mejor plataforma para disponer dichos sensores en el espacio circundante al cuerpo humano, haciendo de interfaz entre el usuario y el sistema electrónico encargado de convertir las señales fisiológicas y ambientales propias de los seres humanos en señales eléctricas cuantificables.

La característica más importante de un sensor es su sensibilidad; una medida de la diferencia en la salida del sensor como función del cambio en la consistencia de la entrada. Idealmente, los sensores deberían ser suficientemente sensibles a los estímulos de entrada y no deberían influir en la medida tomada. A menudo, es necesario amplificar, condicionar o modificar la salida para generar información útil y fiable.

En la Figura 2, se muestra un esquema del funcionamiento de los sensores:

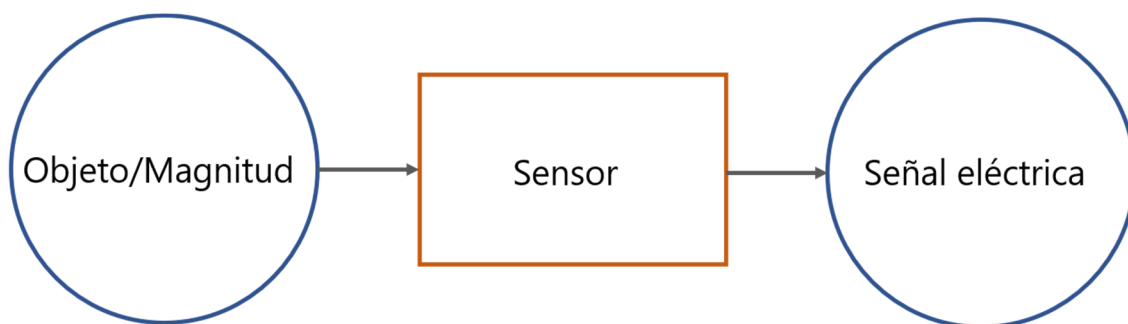


Figura 2. Esquema del funcionamiento de un sensor

Clasificación

Los sensores pueden ser clasificados en numerosos tipos, como contacto/no-contacto, dependiendo de la distancia del objeto; absolutos/relativos, dependiendo de la referencia escogida; activos/pasivos, dependiendo de la dependencia de energía externa y, finalmente según el tipo de magnitud que se desea medir. Independientemente de esta clasificación, es de vital importancia determinar en qué principio físico se basa el funcionamiento del sensor. A continuación, se mostrarán los distintos principios usados, típicamente.

- Sensores capacitivos

Los sensores capacitivos son ampliamente usados en una gran variedad de aplicaciones incluyendo detección de proximidad, posición, flujo, presión y espesor. El funcionamiento de los sensores capacitivos se basa en el principio de los capacitores, donde un par de placas conductoras son separadas por un medio dieléctrico. La capacitancia (C) es la medida de la cantidad de carga que el capacitor puede aguantar en un voltaje dado. Es inversamente proporcional a la distancia entre las placas (d) y, varía proporcionalmente con el área de las mismas (A).

De modo que, un sensor capacitivo es capaz de convertir cualquier cambio en alguno de los tres parámetros del capacitor: distancia (d), área de las placas capacitivas (A) y la constante dieléctrica del medio (ϵ_r), en una señal eléctrica.

$$C = \epsilon_0^1 \epsilon_r \frac{A}{d} \quad (1)$$

En general, un sensor capacitivo textil consiste en un polímero dieléctrico, o un simple tejido (por ejemplo, espaciadores textiles 3D, espumas, etc.) con electrodos textiles en la superficie. Los electrodos textiles pueden ser fabricados de distintas formas incluyendo estructuras de calada, bordados e impresión.

¹ ϵ_0 es la permitividad del espacio libre

A continuación, en la Figura 3, se muestra un esquema de un sensor capacitivo:

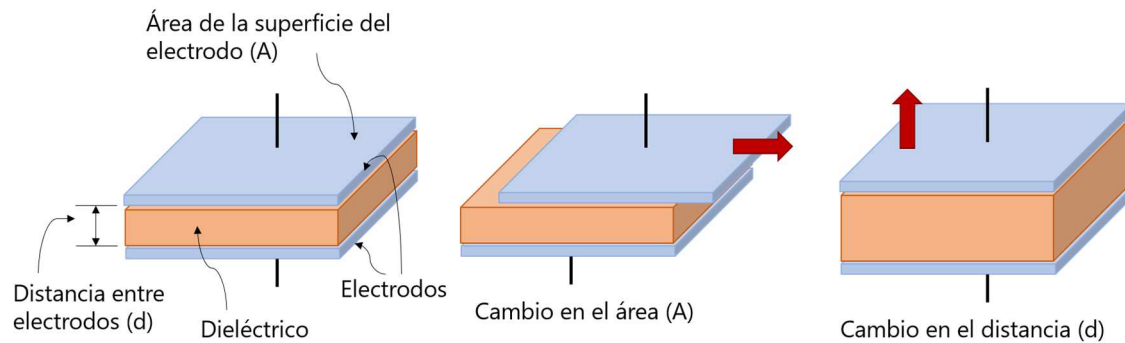


Figura 3. Esquema de un sensor capacitivo

o Casos reales

La monitorización fisiológica para el cuidado de la salud es el campo donde más se emplean los sensores capacitivos textiles.

- a) Un ejemplo podría ser un capacitor de placas paralelas hecho de electrodos de tinta de plata impresa para monitorizar la repetición de la contracción y expansión en los ciclos respiratorios. El movimiento relativo de los electrodos da como resultado una variación en la capacitancia [2].
- b) Otro ejemplo propuesto consiste en un sistema capacitivo donde el cuerpo humano es usado como medio dieléctrico, con el objetivo de obtener información de la actividad del sujeto, como masticar, engullir, hablar, etc. Los electrodos se sitúan en forma de collar alrededor del cuello, pecho, muñecas y piernas; de este modo se pueden monitorizar los cambios dentro del cuerpo causados por el movimiento muscular a través de la deformación de dichos collares, mostrados en la Figura 4 [2].



Figura 4. Ejemplo de sensor capacitivo en forma de collar [2]

Los sensores capacitivos son relativamente fáciles de incorporar en ensamblajes textiles por su estructura multicapa. A pesar de esto, estos sensores son influenciados por las propiedades dieléctricas del ambiente como la humedad y requieren un mínimo de área sensible para producir cambios medibles en la capacitancia.

- Sensores inductivos

Los sensores inductivos son generalmente usados para la determinación de posición y proximidad para detectar materiales metálicos sin estar en contacto. También pueden ser usados para detectar defectos en materiales conductores debido a su capacidad de detectar cambios estructurales en la materia. Un sensor inductivo básico está compuesto de 4 componentes: un espiral inductiva, un oscilador, un circuito de detección y un circuito de salida. Estos sensores emiten un campo electromagnético generado por el oscilador; si un material metálico se aproxima a la espiral inductiva, este afecta a la amplitud del campo generado por el sensor. Mediante el análisis de los cambios en el campo electromagnético y la inductancia, la posición y proximidad del objetivo puede ser monitorizada.

A continuación, en la Figura 5, se muestra un esquema de un sensor inductivo:

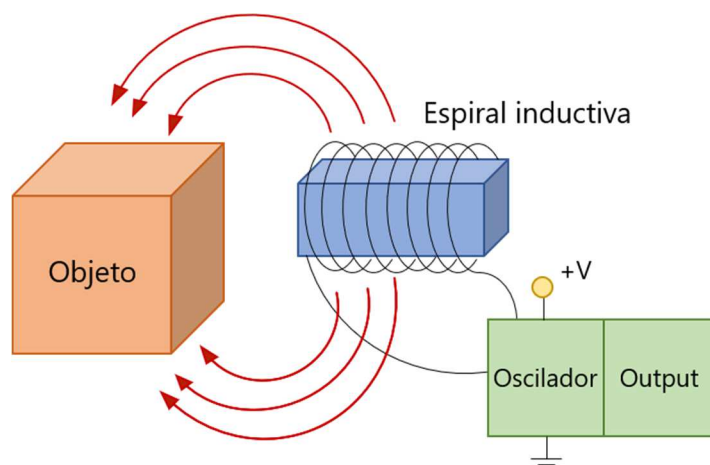


Figura 5. Esquema de un sensor inductivo

Los sensores inductivos textiles están fabricados formando espirales con la ayuda de estructuras de malla, bordados, cosidos o por impresión; usando materiales como cobre, cables magnéticos y medios conductivos impresos.

- o Casos reales
 - a) Algunos transductores inductivos a partir de espirales inductivas de cobre situados en estructuras tubulares de malla han sido usados para la monitorización de la respiración, así como seguimiento de movimiento [2].

Factores importantes en el diseño de sensores inductivos textiles son la configuración de la espiral y su resistividad lineal. Adicionalmente, el posicionamiento de dicho sensor

desarrolla un papel muy importante en cuanto a su sensibilidad. Este tipo de sensores no son afectados por las propiedades dieléctricas del entorno, pero pueden ser influenciadas por campos magnéticos externos.

- Sensores piezoeléctricos

Los materiales piezoeléctricos pueden generar un potencial eléctrico cuando se les aplica un estrés mecánico y contrariamente, se deforman al verse bajo el efecto de un campo eléctrico. Los transductores piezoeléctricos cuentan con un entramado asimétrico de partículas que se deforman bajo la aplicación de una fuerza. Esta deformación conduce a una reorientación de las cargas eléctricas en el material, resultando en una polarización de cargas positivas y negativas.

Las cargas superficiales inducidas por polarización de la polaridad contraria pueden ser determinadas midiendo la diferencia de voltaje entre los electrodos unidos a las superficies opuestas. Tradicionalmente, los sensores piezoeléctricos son usados para determinar presiones, aceleraciones, fuerzas o tensiones.

A continuación, en la Figura 6 se muestra un esquema de un sensor piezoeléctrico.

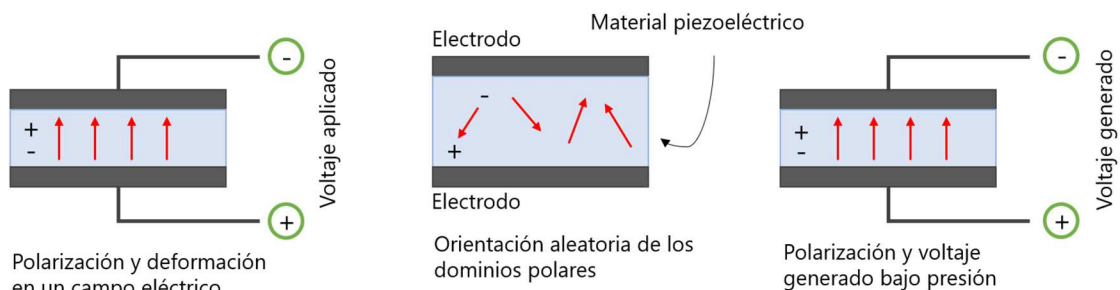


Figura 6. Esquema de un sensor piezoeléctrico

Referente a los sensores piezoeléctricos textiles, el material más usado es el poli(fluoruro de vinilideno) (PVDF), aunque copolímeros como poli(fluoruro-trifluoruroetileno de vinilideno) (PVDF-TrFE) y sus derivados también se usan. Generalmente, los sensores piezoeléctricos son instalados en forma de film (entre los electrodos) y pueden ser integrados en los tejidos fácilmente debido a su morfología, ya que no ocupan un volumen elevado.

- o Casos reales

Los sensores piezoeléctricos son mayormente usados para monitorizar presiones.

- a) Un sensor fabricado a partir de PVDF, situado entre el tapizado y la espuma de un asiento de coche, se usó para determinar la presión aplicada por el usuario, como se muestra en la Figura 7. Se monitorizaron los cambios en el ángulo de fase como función de la presión, obteniendo valores lineales como salida del sensor [2].

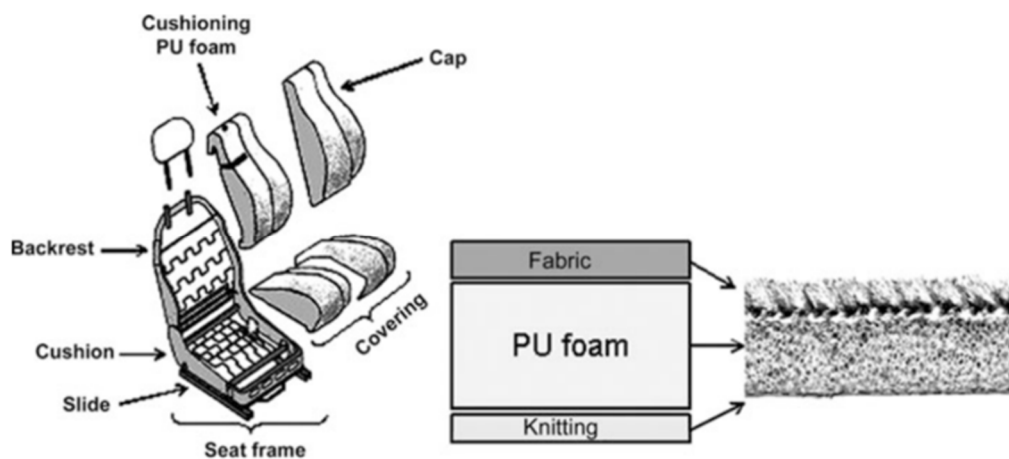


Figura 7. Ejemplo de aplicación de un sensor piezoeléctrico [2]

- b) Este tipo de sensores también pueden ser usados para analizar señales fisiológicas relacionadas con el cuidado de la salud. Un sistema consistente de 2 capas de tejido conductor junto con un film sensor de PVDF, incorporados en un cinturón se usó para obtener señales cardiorrespiratorias, latidos y ciclos respiratorios, como se muestra en la Figura 8 [2]:

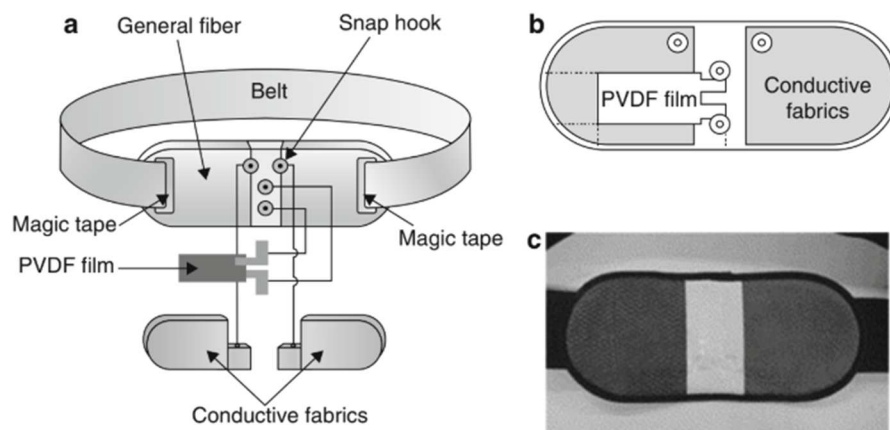


Figura 8. Ejemplo de aplicación de un sensor piezoeléctrico [2]

Este tipo de sensores son particularmente adecuados para aplicaciones textiles debido a su habilidad para producir señales medibles con poco estrés. Responden a casi cualquier tipo de deformación. Adicionalmente, los sensores piezoeléctricos son capaces de dar respuestas en ambos voltajes, positivo y negativo para un estímulo dado. Los problemas aparecen cuando se trata de medias estáticas debido a la pérdida de corriente; bajo una carga constante la salida tiende a 0.

- Sensores ópticos

Los sensores ópticos se basan generalmente en la medición del cambio en la intensidad, fase, polarización o longitud de onda en uno o más haces de luz debido a su exposición a la magnitud sometida a medición.

A continuación, en la Figura 9 se muestra un esquema del sensor óptico:

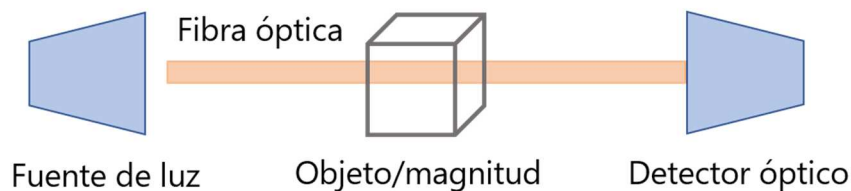


Figura 9. Esquema de un sensor óptico

Este tipo de sensores ofrecen un gran potencial en aplicaciones textiles ya que están fácilmente disponibles en forma de fibras poliméricas y por lo tanto pueden ser incorporados en los tejidos incluyendo diferentes técnicas como estructuras de calada, estructuras de malla y tejidos no-tejidos. Aunque en el caso de fibras de vidrio ópticas, las estructuras de malla o calada pueden provocar demasiada curvatura, reduciendo el grado de transmisión de luz.

Los sensores ópticos textiles pueden ser utilizados para analizar deformaciones provocadas por tensiones. El resultado se obtiene a partir de la deformación de la fibra ante el efecto mecánico de la tensión.

- o Casos reales
- a) Se desarrolló un sensor textil de fibra óptica mediante la integración de dicho tipo de fibras en estructuras de calada durante el proceso de tejeduría. El sistema está diseñado para monitorizar presiones. En la Figura 10, se muestra dicho tejido [2]:

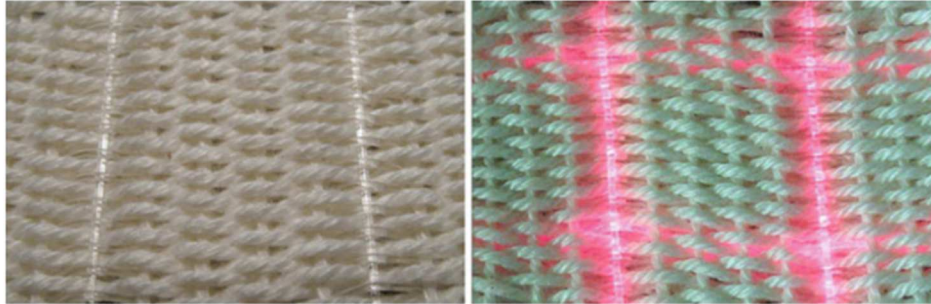


Figura 10. Ejemplo de la aplicación de un sensor óptico [2]

- b) Los sensores ópticos incorporados en tejidos como un cableado, pueden dar información del movimiento respiratorio torácico y abdominal en pacientes anestesiados durante las sesiones de resonancias magnéticas. Ya que los materiales metálicos pueden ser afectados por el proceso de la resonancia, este tipo de sensores son una buena alternativa para este tipo de casos [2].

Las ventajas de los sensores ópticos textiles incluyen las excelentes propiedades de transmisión, la capacidad de formación de múltiples plexos, un amplio rango dinámico y la falta de sensibilidad frente a cambios eléctricos, químicos y de temperatura.

- Sensores químicos-bioquímicos

Los sensores químicos son capaces de interactuar con productos o elementos químicos y generar señales eléctricas. En general, un sensor químico consiste en dos partes principales, una capa sensible activa y un transductor físico. La interrelación entre la capa sensorial y el transductor puede provocar efectos significativos en el desempeño del sensor. El mecanismo de transducción puede ser electromecánico, óptico, eléctrico, de masa o térmico. Los sensores químicos generalmente funcionan con un mecanismo anfitrión-invitado, de modo que deben ser adecuados para la muestra. Pueden trabajar en contacto o no para diversas aplicaciones.

A continuación, la Figura 11 muestra un esquema de un sensor químico/bioquímico:

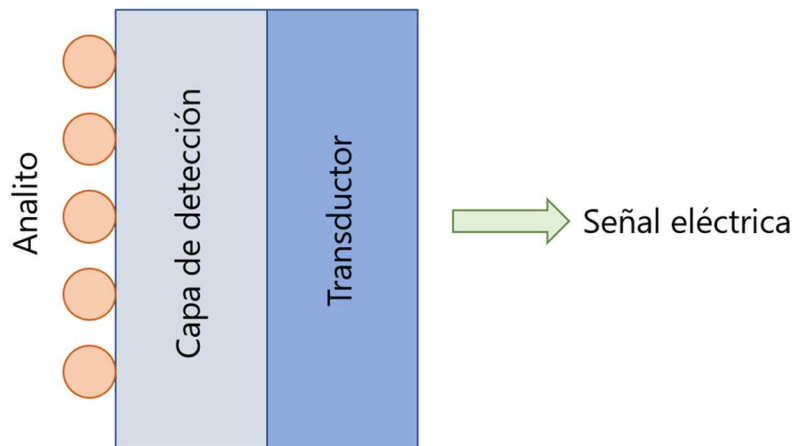


Figura 11. Esquema de un sensor químico/bioquímico

Los sensores químicos en sustratos textiles son fabricados usando varios materiales, incluyendo la poliamida, poliéster y Lycra, junto con capas adicionales que contienen tintes sensibles al pH, hidrogeles, tintas conductivas, etc. La mayoría de sensores químicos textiles están basados en la colorimetría y la amperometría.

- o Casos reales

Los sensores químicos o bioquímicos pueden ser usados para la determinación y análisis de fluidos corporales, como la composición, nivel y pH del sudor.

- a) El sistema consiste en un recolector de sudor, un emisor-detector LED, y un tinte sensible al pH aplicado sobre el sensor textil. Cuando el sudor entra en contacto con el tinte sensible al pH, este cambia de color, de modo que la cantidad de luz absorbida proveniente del LED varía, variando a su vez, la señal de salida del sensor óptico. En la Figura 12 se muestra el prototipo:

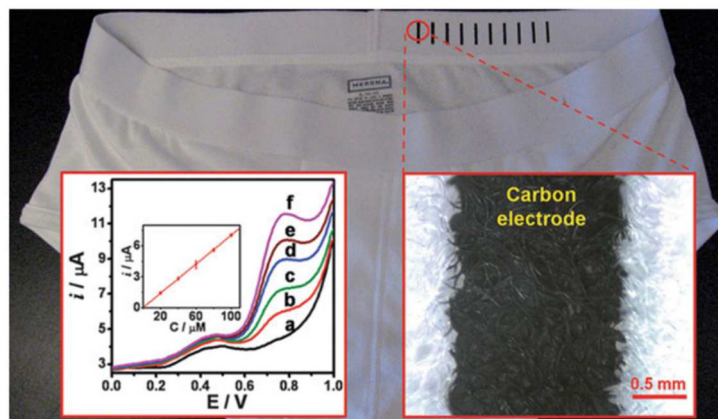


Figura 12. Ejemplo de la aplicación de un sensor químico/bioquímico [2]

- Sensores piezoresistivos

El comportamiento piezoresistivo hace referencia a la propiedad de los materiales capaces de cambiar su resistencia eléctrica (R) bajo el efecto de una tensión o una deformación. Este efecto compone las bases para un mecanismo transductivo entre los dominios mecánico y eléctrico. El cambio en la resistencia (ΔR) de un piezoresistor de longitud L , bajo una tensión ($\Delta L/L$), se puede expresar en términos de resistividad (ρ) y ratio de Poisson (μ) como:

$$\frac{\Delta R}{R} = (1 + 2\mu) \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta \rho}{\rho} \quad (2)$$

Nótese que el primer término representa el cambio en la resistencia debido a los cambios dimensionales como funciones de los cambios en la longitud ($\Delta L/L$) y área ($2\mu\Delta L/L$). el segundo término hace referencia a los cambios en la resistividad ($\Delta\rho/\rho$) debido a los cambios inducidos por la tensión en la estructura del material. En los sensores piezoresistivos textiles, ambos términos pueden ser significativos. Otra característica importante referente a la sensibilidad de dichos sensores es el factor de calibrado (G), calculado según la siguiente expresión:

$$G = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} \quad (3)$$

Los sensores piezoresistivos son comúnmente utilizados para determinar la tensión aplicada en un material monitorizando el cambio de la resistencia eléctrica del mismo.

En la Figura 13, se muestra un esquema del funcionamiento de este tipo de sensores:

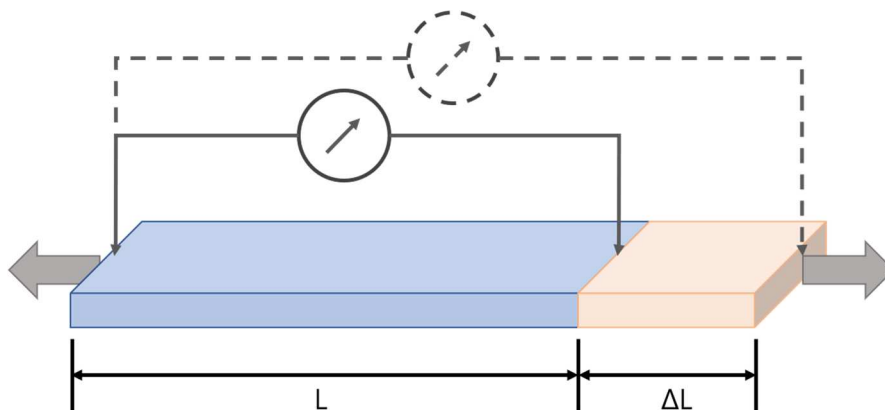


Figura 13. Esquema de un sensor piezoresistivo

Cabe mencionar también la existencia de sensores resistivos. Se basan en el mismo principio, pero deformaciones sufridas no son tan significativas; simplemente varían su resistencia al aplicar una presión o una tensión mecánica.

El desarrollo de aplicaciones para sensores piezoresistivos textiles es muy extenso y, se han usado materiales como polímeros intrínsecamente conductores (ICP), composites elastómeros conductivos (EC), hilos conductores y tejidos de malla. Los textiles revestidos con composites elastómeros que contienen partículas conductoras (carbónicas o metálicas) tienen cierta ventaja sobre los ICP, ya que poseen una alta flexibilidad, estabilidad y facilidad de aplicación. La aplicación de fuerzas externas sobre los ECs causa la rotura de las intersecciones conductoras y/o crean nuevas redes conductivas. Dependiendo de la respuesta estructural dominante de los EC, la resistencia puede incrementar (piezoresistencia positiva) o disminuir (piezoresistencia negativa). Esta respuesta depende de diversos factores estructurales o externos, como el tipo de polímero, el tipo y orientación de relleno, la concentración, la geometría, etc.

Los sensores piezoresistivos se están actualmente usando de forma extensiva en la determinación de muchos parámetros incluyendo tensiones, especialmente en aplicaciones biomédicas. Estos sensores están fabricados a partir de materiales poliméricos blandos y pueden ser integrados fácilmente en los textiles. Un sensor piezoresistivo optimizado puede producir excelentes señales. A pesar de esto, efectos ambientales (temperatura y humedad), histéresis y la no-linealidad, pueden ser problemas potenciales.

- o Casos reales
 - a) Se ha desarrollado un cinturón de respiración de estructura de malla para prevenir el síndrome de muerte súbita infantil, mostrado en la Figura 14. El sistema consiste en hilos sensores hechos a partir de un núcleo de poliéster y elastómero, envuelto hilos conductores recubiertos de carbono. Los hilos conductores están dispuestos en intervalos regulares en la estructura de malla, de modo que se monitoriza la respiración del sujeto [2].

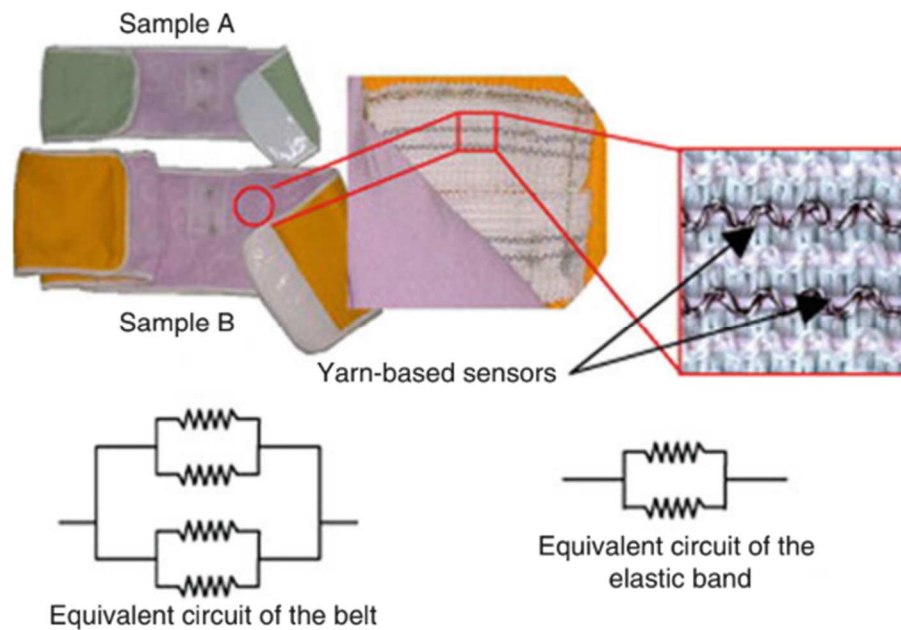


Figura 14. Ejemplo de aplicación de un sensor piezoresistivo [2]

- b) Se ha desarrollado una pieza de ropa cenestésica para las extremidades superiores que consiste en un surtido de parches sensores de elastómero conductor (silicona/grafito), aplicados en una topología determinada sobre un tejido elástico. Su función es la monitorización de gestos, posturas y movimientos. En la Figura 15, se muestra el prototipo del producto [2]:

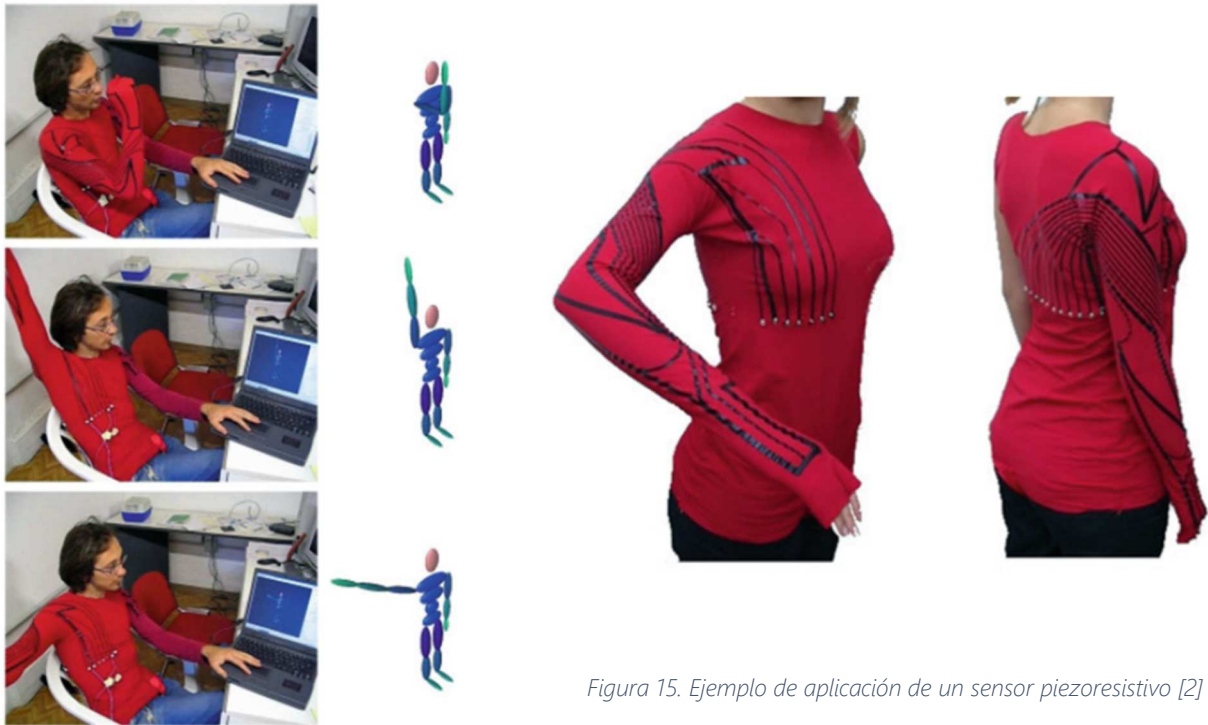


Figura 15. Ejemplo de aplicación de un sensor piezoresistivo [2]

Los sensores textiles se han convertido en un área activa de investigación en el campo emergente de los textiles electrónicos. Aunque estos sensores cubren una amplia variedad, gran parte del esfuerzo se ha focalizado en los sensores piezoresistivos, principalmente porque el principio en el que se basa es fácilmente implementable usando materiales y procesos compatibles con los textiles. El confort (físico y social) y la capacidad de ser vestibles (durables, resistentes a los lavados, etc.) son de gran importancia.

Hilos conductores

Una vez analizados los tipos de sensores textiles existentes, es momento de dar una visión sobre la tecnología que hay detrás, que consiste básicamente en los hilos conductores y su implementación en los distintos sustratos, ya que son una parte indispensable del conjunto de los sensores textiles.

Como se ha visto en algunos casos, el principio del sensor no se basa en hilos conductores, aun así, se necesita de ellos para su integración en los artículos textiles. Es por este motivo que es adecuado explicar qué tipo de hilos existen actualmente y cómo funcionan.

Antes de empezar es importante dar una pequeña definición sobre este tipo de hilos. Los hilos conductores son un tipo especial de hilos o fibras que poseen la cualidad de permitir el paso, en mayor o menor escala, de la corriente eléctrica. Dichos hilos tienen su campo de aplicación en los tejidos inteligentes (e-textiles), combinando de este modo, las aplicaciones que requieren de cierta electrónica con todas las ventajas de poder ser llevadas en la ropa.

Existen diversos métodos para manufacturar los hilos conductores. Los más comunes son la metalización de los hilos, la implementación de nanotubos de carbono y el uso de fibras poliméricas conductoras. A continuación, se detallará cada uno de estos métodos.

- **Metalización de los hilos**

En un primer estadio, el método más simple de la metalización consiste en implementar hilos o mallas metálicas en el tejido, de modo que no se está metalizando el hilo propiamente, pero si se metaliza el tejido.

En una segunda fase, se pueden añadir metales, como plata, acero o níquel, o carbono a los hilos. Es posible obtener textiles con propiedades conductivas mediante la inserción

de dichos elementos a la estructura del hilo, en forma de fibras, micro o nano partículas, directamente en el proceso de hilado.

Finalmente, otro aspecto importante es el uso de fibras conductoras revestidas. Generalmente se usan metales ya que proveen una excelente conductividad y estabilidad estructural, aunque también se pueden usar revestimientos carbónicos.

El electro-galvanizado y el galvanizado sin electrodos son los dos métodos más comunes de metalización de materiales poliméricos. De todos modos, otras técnicas como el procesado con solución química también se usan para proveer a los textiles del revestimiento metálico. El electro-galvanizado consiste en el proceso de crear una película en un sustrato mediante la reducción electroquímica de los iones metálicos del electrolito. Diversos factores pueden afectar al revestido durante el proceso, como la interrelación entre el sustrato y el revestimiento, el material de revestimiento como tal, y la relación entre el revestimiento y el ambiente. Mientras que la técnica del electro-galvanizado incluye el uso de una corriente eléctrica externa para que se dé la reacción del metal, el galvanizado sin electrodos crea dicho revestimiento mediante reacciones químicas sin consumir el sustrato.

Esto es posible gracias a una reducción selectiva de los iones metálicos, únicamente en la superficie de un sustrato catalítico, el cual está inmerso en una solución acuosa de los mismos iones metálicos, resultando en una deposición continua sobre el sustrato mediante la catálisis del revestimiento.

Aunque el revestimiento de metal tiene ventajas, también presentan ciertas limitaciones en términos de la durabilidad y uniformidad. A parte, las técnicas usadas suelen ser caras, así como los metales usados.

A continuación, se muestran las características de algunos hilos metalizados, de la marca comercial Bekaert [3]:

Standardtype	Composición	Resistencia a la tracción (cN)	Elongación media (%)	Resistencia eléctrica (Ω/cm)
VS 08	100% Bekinox	6	1	190
VS 12	100% Bekinox	17	1	84
BK 50/1 polyester	20% Bekinox 80% PES	550	10	100
BK 50/2 polyester	20% Bekinox 80% PES	1150	13	50
BK 50/1 cotton	20% Bekinox 80% CO	340	4.5	70
BK 50/2 cotton	20% Bekinox 80% CO	730	5	35
BK 40/2 Polypropylene	10% Bekinox 90% PP	1550	19	70

Tabla 1. Hilos comerciales Bekaert [3]

- Nanotubos de carbono

Los nanotubos de carbono, también llamados CNT, son excelentes candidatos para la preparación de hilos conductores debido a su estructura única, junto con sus excelentes propiedades físicas, químicas y mecánicas. Los CNT son estructuras cilíndricas compuestas de una o múltiples capas de grafeno, con finales abiertos o cerrados. Con diámetros desde los 0.8 hasta los 20 nm y longitudes desde <100 nm hasta bastantes centímetros.

Los CNT tienen la habilidad de conseguir conductividades alrededor de los 10^5 S/cm^{-1} .

Las fibras individuales basadas en los CNT se hilan, mediante el hilado en húmedo, en una fibra directamente desde una solución. Dicha solución contiene CNT prefabricados disueltos o bien, la combinación de químicos necesarios para sintetizar los nanotubos.

También se puede combinar los CNT con fibras ya existentes como el algodón o la poliamida, creando un hilo formado a base de la mezcla de ambas tecnologías. Dicho hilo contará con las propiedades eléctricas de los nanotubos, así como las propiedades que pueden aportar las fibras convencionales.

En la Figura 16, se muestran diferentes estructuras de CNT:

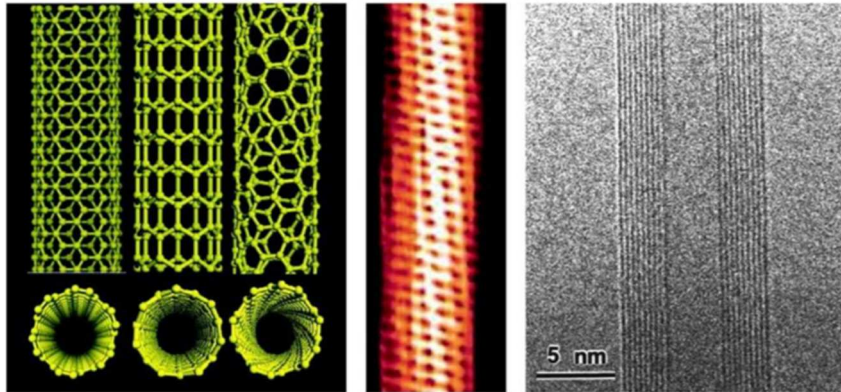


Figura 16. Estructura de nanotubos de carbono [2]

- Fibras poliméricas conductoras

Las fibras orgánicas que pueden funcionar como componentes electrónicos como baterías, sensores, y actuadores, son la base de las nuevas tecnologías textiles, conocidas como tejidos inteligentes o e-textiles. Los materiales poliméricos conductores son los candidatos ideales para este tipo de fibras, como resultado de su buena conductividad electrónica, sus propiedades mecánicas y su actividad electroquímica. Estas características permiten al polímero actuar como almacenadores de energía, electrodos o responder a sus alrededores como un sensor al variar sus propiedades. Desarrollar estos materiales en forma de hilos ha involucrado la técnica del hilado húmedo de la polianilina, polypyrrole, y polythiophene. Estas fibras han sido evaluadas para aplicaciones como sensores biomecánicos o músculos artificiales.

La mayoría de polímeros orgánicos son aislantes eléctricos. Contrariamente, los polímeros conductores intrínsecos (ICPs), son materiales que muestran una conductividad eléctrica parecida a la de los metales. Al exponer films de poliacetileno a vapores halógenos, este material aumentaba su conductividad (σ) unas 10^9 veces, hasta un valor de 10^5 S cm^{-1} . Esta conductividad es superior a la del mercurio y, comparable a la del cobre.

Debido a sus exclusivas características eléctricas, químicas y físicas, los ICPs se han hecho lugar en diferentes áreas, como los sensores, actuadores mecánicos, etc.

A continuación, se dará una visión de los ICPs que más impacto tienen en la industria hoy en día:

o Polyaniline

La polyaniline (PAni) es la ICP más estudiada con diferencia, debido a su redox reversible, su propiedad de pH variable, facilidad de síntesis, y amplio rango de aplicaciones potenciales. Su estructura polimérica es diferente a otros ICPs, y conduce a tres posibles estados de oxidación, cada uno con su color distintivo. La PAni puede ser sintetizada vía la oxidación química o electroquímica de la anilina.

La conductividad de la PAni depende del estado de oxidación y el nivel de protonación del polímero.

En la Figura 17, se muestra la estructura química de la PANI:

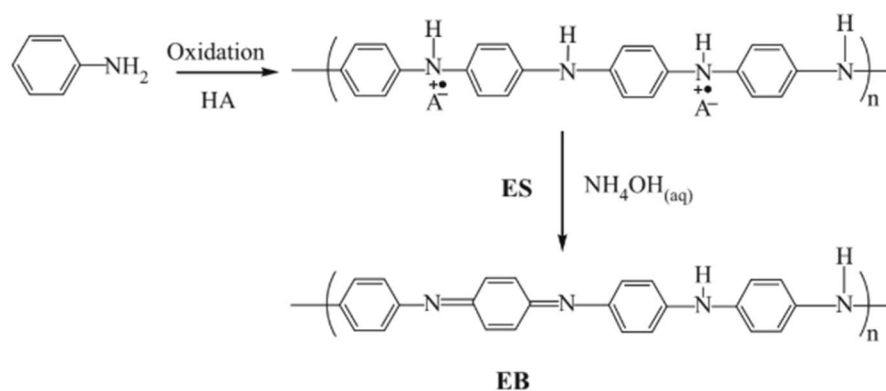


Figura 17. Estructura de la PANI [2]

o Polypyrrole

De entre los polímeros conductores, la polypyrrole es especialmente atractiva ya que tiene una conductividad eléctrica relativamente elevada y una buena estabilidad ambiental. La PPy es estable en el aire y en entornos eléctricamente cargados, así como en soluciones orgánicas y con electrolitos. Se puede variar su estado de oxidación y reducción para permitir un control dinámico de las propiedades eléctricas, químicas y mecánicas. En particular, la PPy se identifica como un material no tóxico y biocompatible, con el que se pueden inmovilizar moléculas biológicas activas, como enzimas, anticuerpos o incluso cualquier tipo de célula viva.

La PPy puede ser sintetizada vía polimerización oxidante química o electroquímica del monómero de pyrrole en disolución. Estos procesos dan como resultados materiales poliméricos con conductividades alrededor de 8 S cm^{-1} .

En la Figura 18, se muestra la estructura química de la PPy:

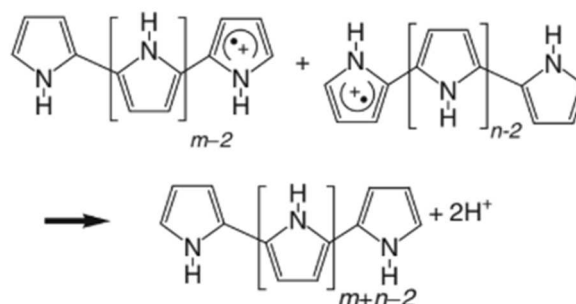


Figura 18. Estructura de la PPy [2]

o Polythiophene

La polythiophene se obtiene a partir de la oxidación de la thiophene para formar un polímero conductor electroactivo. Este polímero puede ser sintetizado vía la oxidación química o electroquímica. Estos procesos dan como resultados materiales poliméricos con conductividades alrededor de 8 S cm^{-1} .

La polythiophene tiene bastantes puntos en común con el polímero anterior, la polypyrrole.

En la figura 19, se muestra la estructura de la Polythiophene:

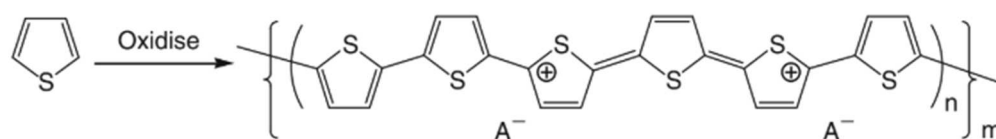


Figura 19. Estructura de la Polythiophene [2]

La producción de fibras continuas de polímero conductor ha mostrado ciertos problemas en sus formas más usuales, ya que la mayoría de dichos polímeros no son solubles y no pueden ser procesados usando las técnicas que incluyen el fundido del polímero, como la extrusión.

Básicamente, la hilatura de los polímeros se puede dividir en los métodos que involucran el fundido o disolución del polímero. La hilatura por fundido es inapropiada para los

polímeros conductores, como se ha mencionado anteriormente; por lo que solo queda el método de la disolución.

La hilatura en húmedo consiste en la extrusión de la disolución del polímero en un baño de sustancias de bajo peso molecular, miscibles con el solvente, pero sin disolver el polímero. En el baño de coagulación, el polímero se precipita de la solución, y se forman fibras de gel sólido. La solidificación ocurre por el intercambio de solvente y no-solvente. La fibra coagulada pasa por unos rodillos guía donde se lava, se estira y se seca, como se muestra en la Figura 20.

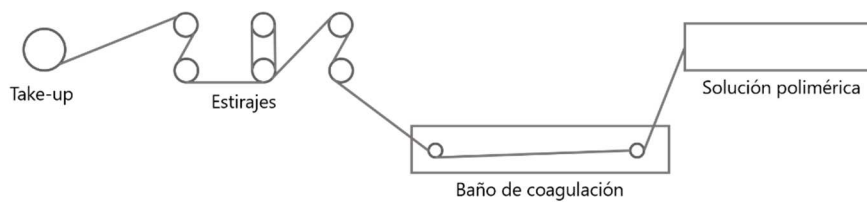


Figura 20. Esquema del hilado en húmedo

o Hilado de fibras de Polyaniline

A continuación, se muestran las características del producto resultante del hilado de la polyaniline, así como una imagen microscópica en la Figura 21. Dichas características variarán según el aditivo añadido en el baño de coagulación y de las condiciones iniciales de la polyaniline.

Proceso	Tensión de rotura (MPa)	Módulo (GPa)	Alongamiento a la rotura (%)	Aditivo	Conductividad ($S\ cm^{-1}$)
LEB/DMPU	308	7.8	15	HCl	150
LEB/DMPU	127	2.97	13	MSA*	350
EB/NMP	63	1.85	6	BPA*-HCl	10
PAni/CSA/m-cresol	17	0.65	8.4	n/a	200
PAni/AMPSA/DCAA	20-80	0.04	n/a	n/a	100
PAni/AMPSA/DCAA x 5 estirajes	83	1.4	n/a	n/a	600
PAni (30%) / Kevlar	3130	56	5.9	n/a	0.1
PAni (20%) / Nylon-11	238	n/a	n/a	n/a	0.1

Tabla 2. Características de los hilos de PANI [2]

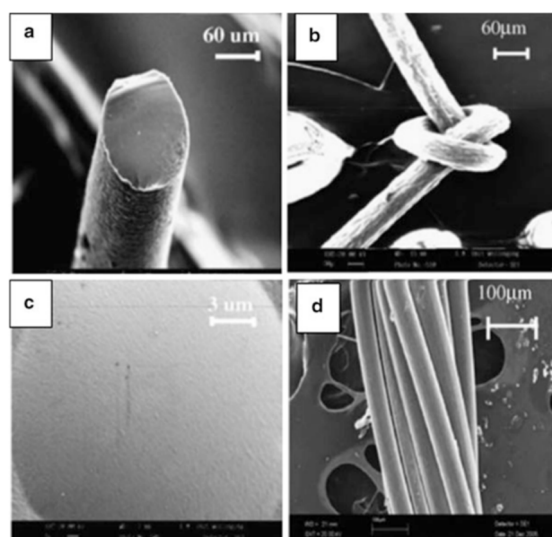


Figura 21. Visión microscópica de la PANI [2]

o Hilado de fibras de Polypyrrole

A continuación, se muestran las características del producto resultante del hilado de la polypyrrole, así como una imagen microscópica en la Figura 22. Dichas características variarán según el aditivo añadido en el baño de coagulación y de las condiciones iniciales de la polypyrrole.

Material	Conductividad ($S\ cm^{-1}$)
PPY-Alg (APS/DEHS)	0.5 ± 0.2
PPY-Alg-CNT (APS/DEHS)	3.0 ± 0.5
PPY-Alg-CNT ($FeCl_3$ /DEHS)	2.0 ± 0.4
PPY-Alg-CNT R(APS/pTS)	4.0 ± 0.8
PPY-Alg-CNT ($FeCl_3$ /pTS)	10.0 ± 1.5

Tabla 3. Propiedades de la Polypyrrole [2]

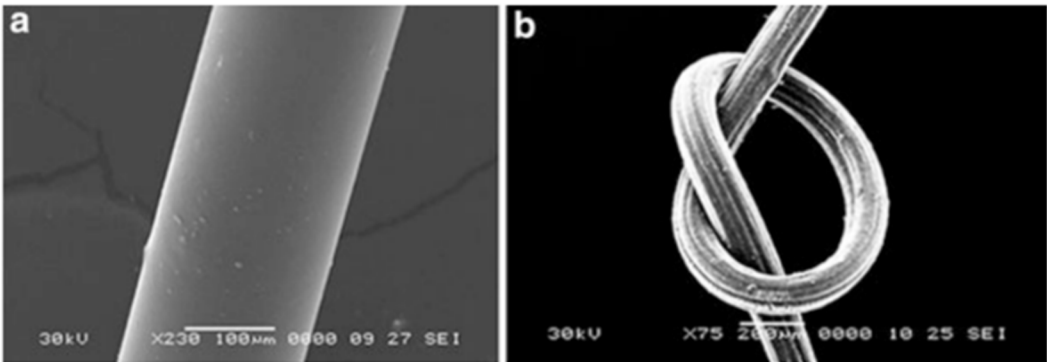


Figura 22. Visión microscópica de la Polypyrrole [2]

o Hilado de fibras de Polythiophene

A continuación, se muestran las características del producto resultante del hilado de la polythiophene, así como una imagen microscópica en la Figura 23. Dichas características variarán según el aditivo añadido en el baño de coagulación y de las condiciones iniciales de la polythiophene.

Fibra	Densidad lineal	Tenacidad (cN/dtex)	Alongamiento en la rotura (%)	Conductividad (S cm ⁻¹)
PEDOT:PSS	1177dtex/30f	0.26 ± 0.2	137.7 ± 10	7 ± 1
	595 dtex/10f	0.16 ± 0.2	261.5 ± 15	20 ± 1

Tabla 4. Propiedades de la Polythiophene [2]

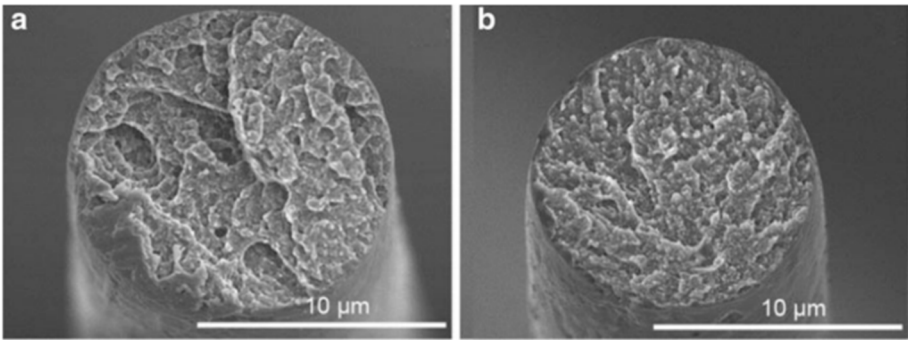


Figura 23. Visión microscópica de la Polythiophene [2]

El desarrollo de materiales y métodos para la preparación de fibras poliméricas conductoras es un paso crucial para la aplicación de estos materiales en los tejidos inteligentes y otras aplicaciones. El hilado húmedo es el método más adecuado para la fabricación de estas fibras, aunque otras fibras más cortas pueden ser fabricadas vía la polimerización electromecánica. Las diversas composiciones de los materiales y su procesamiento han generado fibras poliméricas conductoras con un amplio rango de propiedades.

Los gráficos mostrados a continuación (Figura 24), sintetizan las propiedades mecánicas y electrónicas clave de dichos polímeros.

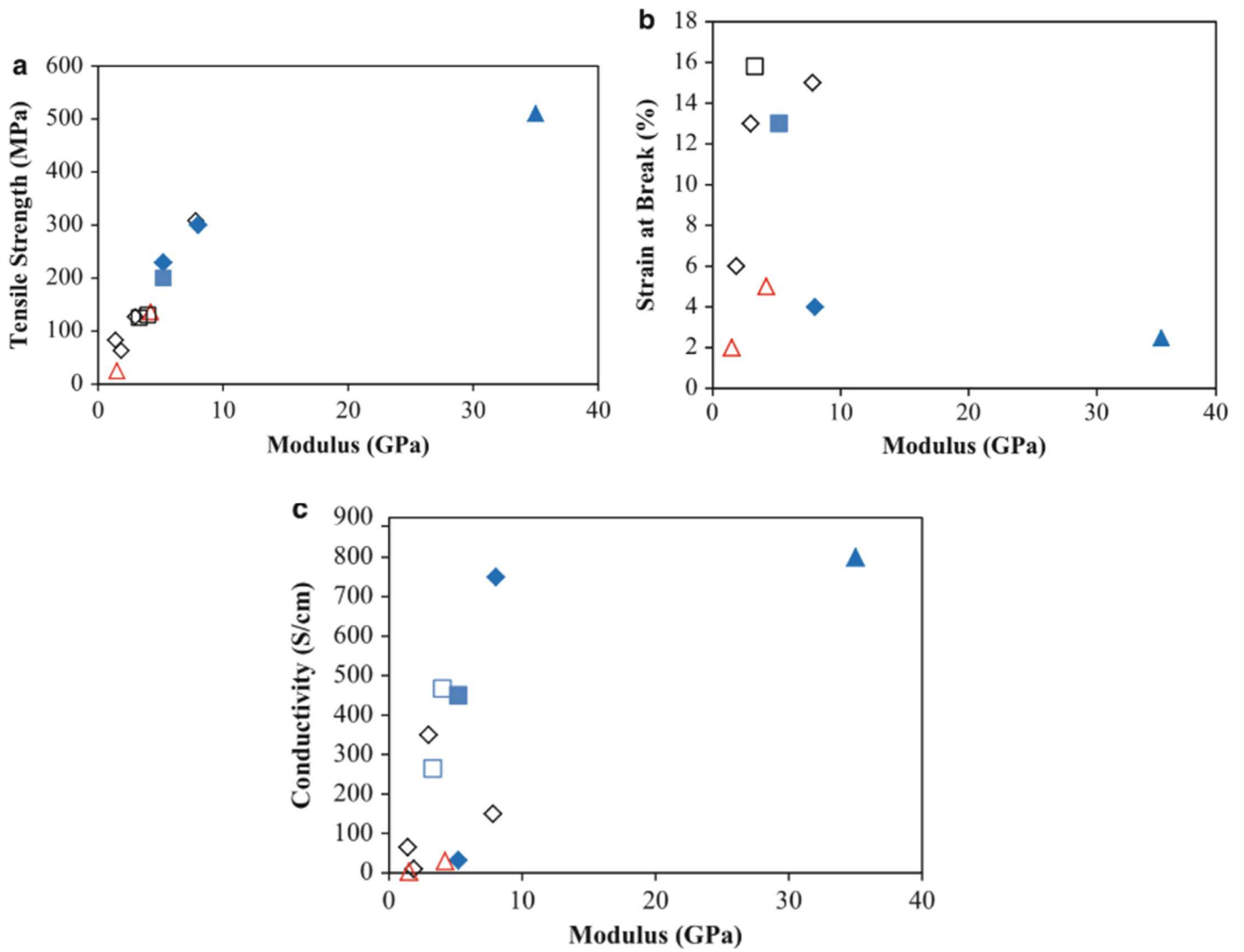


Figura 24. Gráficos de las propiedades mecánicas y eléctricas de las fibras conductoras

Los símbolos rellenos corresponden a la información de polímeros conductores-fibras de CNT. Los símbolos vacíos corresponden a las fibras sin tratamiento de PANI (diamantes), PPY (triángulos) y PEDOT (cuadrados) [2].

Hilo conductor experimental

A parte de los hilos conductores comerciales comentados anteriormente, desde la universidad de Shaoxing, en China, se ha desarrollado un hilo experimental basado únicamente en polímeros conductores (PPTA y PANI). Todo el proyecto se desarrollará sobre este hilo con el objetivo de averiguar la factibilidad de construir un sensor haciendo uso del mismo.

A continuación, se tratarán las propiedades de dicho hilo experimental.

La fibra de poly(p-phenylenetere phthamide) (PPTA) es una fibra sintética de altas prestaciones usada ampliamente por su alta resistencia y peso ligero. A pesar de estas prestaciones, su uso es limitado en áreas como los materiales antiestáticos, materiales conductores, y materiales para escudos electromagnéticos, debido a su alto aislamiento eléctrico. Para mejorar la conductividad de este polímero, se ha realizado un revestimiento polimerizado para manufacturar los hilos de poly(p-phenylenetere phthamide)/Polyaniline de forma continua.

Los metales como el acero inoxidable, el níquel, el cobre, la plata y el oro tienen una excelente conductividad eléctrica, pero sus desventajas en otros aspectos como su alta densidad, su elevado precio, y su dificultad de proceso restringen sus aplicaciones en numerosos campos. Es por esto, que las fibras conductoras están en auge.

La PPTA está considerada una fibra sintética de alta tecnología debido a sus excelentes propiedades como la alta resistencia, un elevado módulo de Young, y la resistencia química y a la fatiga entre otras. Aunque falla en términos de conductividad eléctrica; por este motivo, la metalización de dicha fibra con capas de oro, plata, cobre o níquel, mediante las técnicas de galvanizado comentadas anteriormente, es un excelente método para proveer a la PPTA de conductividad eléctrica.

A pesar de las ventajas de este método, el hilo experimental en cuestión se ha realizado a partir de un tratamiento con ICP, en concreto la PANI. Se trata de un polimerizado in-situ de revestimiento sobre las fibras de PPTA. Es importante mencionar que la concentración de PANI durante el proceso es variable y, según esta magnitud, las propiedades finales del hilo también pueden cambiar.

Por lo relativo a la conductividad eléctrica, con el aumento de la concentración de PANI, la conductividad mejora gradualmente, hasta cierto punto de concentración, donde se produce un pico y después, si se sigue aumentando la concentración, la conductividad disminuye rápidamente.

La influencia de la capa conductiva de PANI en la conductividad del hilo es variada. Desde el aspecto de la estructura macroscópica, la estructura morfológica de dicha capa conductiva sobre la superficie de la fibra, así como su grosor y uniformidad, afecta a la eficiencia de la propiedad conductiva. De la morfología y el aumento de peso, se puede extraer que a medida que la concentración de PANI aumenta, el grosor y uniformidad de esta capa también aumenta, formando un buen canal eléctrico; por consiguiente, la conductividad aumenta gradualmente.

Como se ha dicho anteriormente, llegados a cierto punto de concentración, aunque siga aumentando el grosor y la uniformidad de la capa conductiva de PANI, su conductividad disminuye significativamente. Esto puede ser causado por la variación de la conductividad de este polímero según las diferentes microestructuras que puede adoptar.

En el siguiente gráfico se puede observar la conductividad del hilo según la concentración de APS, que es el aditivo añadido durante el proceso de hilo que determina la cantidad PANI que se adhiere a la superficie de la PPTA. A más concentración de APS, más PANI se adhiere, como se muestra en la Figura 25:

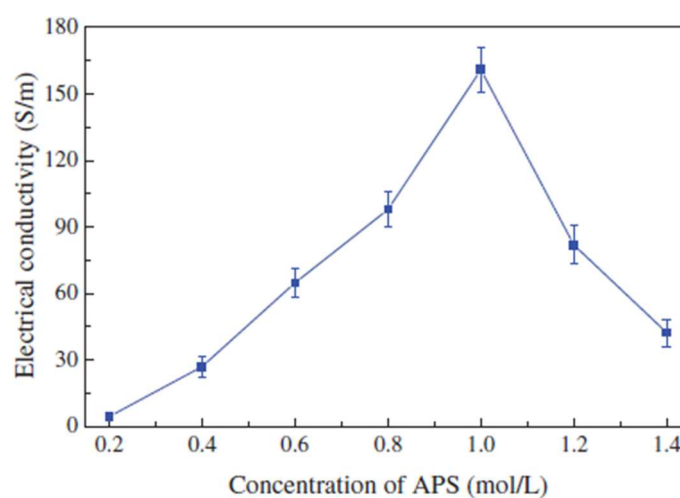


Figura 25. Conductividad del hilo según la concentración de APS [4]

Un suceso parecido ocurre cuando se analizan las propiedades mecánicas del hilo. Cuando la concentración de PANI es baja, la tensión de rotura y el alargamiento de rotura aumentan ligeramente, a pesar de que el módulo de Young se mantiene. Al aumentar la concentración de PANI, el valor de dichas propiedades disminuye.

Las propiedades mecánicas mejoran ligeramente cuando la concentración de PANI es reducida, básicamente porque la PANI rellena los espacios entre las fibras y mejora la cohesión interna del hilo. Cuando el hilo es estirado, se reduce la asincronía de rotura de las fibras, mejorando de este modo las propiedades mencionadas anteriormente.

Cuando se aumenta la concentración de PANI, algunos residuos de dicho polímero se adhieren a la superficie de la fibra y se oxidan durante el proceso de polimerización; causando de este modo, una degradación en las propiedades mecánicas de la fibra, como se puede observar en la Figura 26.

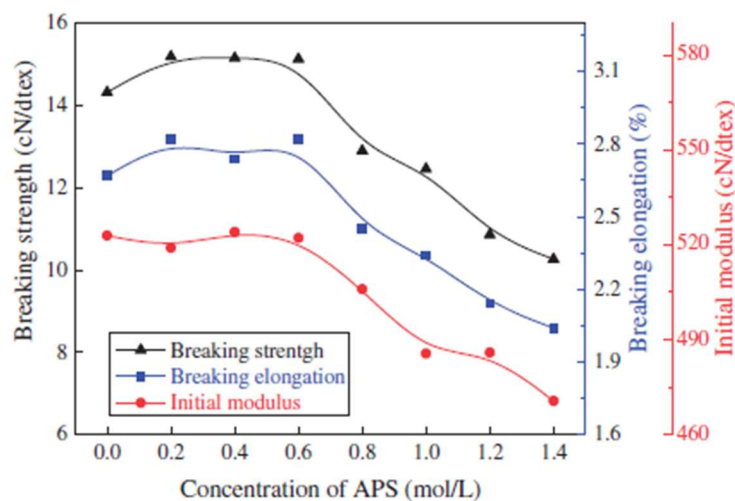


Figura 26. Fuerza de rotura en función de la concentración de APS [4]

Sintetizando toda la información expuesta a lo largo de este apartado se puede llegar a estas conclusiones:

- El revestimiento de PANI sobre la superficie de las fibras de PPTA se llevado a cabo mediante un tratamiento conductivo basado en la polimerización in-situ. Dicha capa conductiva uniforme ha provisto al hilo de una buena propiedad conductora. La concentración de PANI es un factor importante en el desempeño de las propiedades eléctricas del hilo.

- Las propiedades mecánicas como la tensión de rotura, la elongación a la rotura, y el módulo de Young del hilo se han visto afectadas por el tratamiento conductor.

Estudio del hilo conductor experimental

Una vez expuesto el contexto en el que se va a trabajar, es momento de realizar el estudio del hilo sobre el que, a priori, se va a desarrollar todo el proyecto.

Cabe mencionar que se poseen 6 hilos diferentes, todos se rigen por las mismas directrices, es decir, son hilos de PPTA con un tratamiento conductor realizado a partir de una polimerización in-situ con PANI, un polímero conductor que dota al hilo de dichas propiedades eléctricas. La diferencia entre estos 6 hilos es la concentración de PANI en cada uno de ellos.

Se recuerda que uno de los objetivos del trabajo es realizar un sensor a partir de uno de los hilos experimentales desarrollados por la universidad de Shaoxing; es por este motivo que es necesario llevar a cabo ciertas pruebas sobre sus propiedades y prestaciones para poder dictaminar, de forma fiable, si es factible realizar un sensor basado en alguno de los hilos experimentales.

Se analizarán sus propiedades eléctricas y electrónicas, mecánicas y químicas, así como un repaso del proceso de producción. Los resultados darán la información necesaria para llegar a una conclusión firme.

Propiedades eléctricas y electrónicas

Las propiedades eléctricas y electrónicas de estos hilos son, quizás, las más importantes, ya que es de vital necesidad para el correcto funcionamiento del sensor, que los hilos posean un mínimo de conductividad eléctrica.

El test realizado para determinar esta propiedad se basa en la medida empírica de la resistencia de los hilos. Ya que esta es la magnitud a medir, a continuación, se da una breve definición de este concepto:

La resistencia eléctrica (R), es la oposición que presenta un material al avance o circulación de una corriente eléctrica a través del material mismo. La unidad usada para medir dicha

magnitud es el ohmio (Ω). Cabe mencionar que la resistencia eléctrica es una magnitud primaria intrínseca de cada material, que depende únicamente de la composición atómica y estructura molecular del material en cuestión.

Al tratarse de un hilo, cuya longitud en una aplicación real puede variar y, por consiguiente, su resistencia, se deberá calcular la resistencia lineal. Este concepto hace referencia a la resistencia eléctrica por unidad de longitud, en este caso y siguiendo el sistema internacional, ohmios por metro (Ω/m).

Como en todo estudio, esta sección se dividirá en los materiales y aparatos usados, el procedimiento, y finalmente los resultados y conclusiones.

- Materiales y aparatos

Los materiales usados son los propios hilos experimentales, ya que se trata de los sujetos de estudio. Una regla y unas tijeras para la preparación de muestras; obviamente la regla debe ser suficientemente larga para medir las muestras adecuadamente, así como es recomendable que las tijeras sean especializadas para cortar artículos textiles.

Una resistencia física de valor conocido para asegurar el buen calibrado del aparato de medida.

Finalmente, el aparato de medida de resistencia, en este caso se ha utilizado un medidor/fuente de tensión/corriente (SMU) Keithley 2636. Configurado para medir resistencias, con una escala autoajustable.

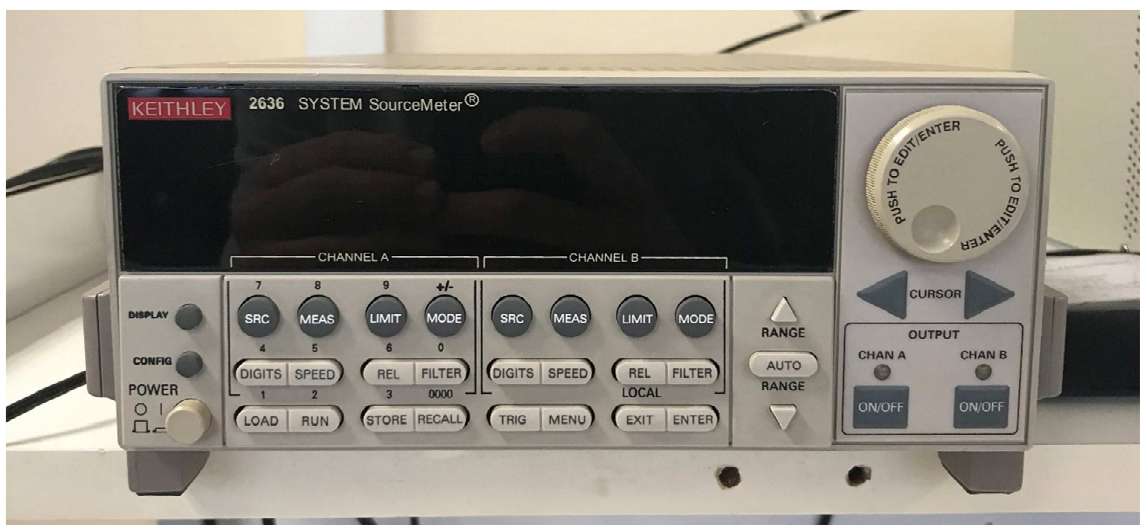


Figura 27. SMU Keithley 2636

- Procedimiento

Para realizar el test de forma fiable es importante pensar y elaborar una metodología de trabajo y seguirla para que todos los resultados sean fidedignos.

Referente a las muestras, se ha decidido que se realizará el test a 10 muestras para cada hilo, asegurando de este modo, resultados coherentes y la minimización del posible error humano.

Las muestras consisten en hilos de 5 cm, se deberán cortar de la bobina haciendo uso de la regla y las tijeras.

Una vez preparadas las muestras y se ha configurado correctamente el aparato de medida, se puede proceder a la realización del test.

El test consiste básicamente en conectar 2 electrodos a ambos extremos del hilo, de modo que el circuito se cierra y es posible medir la resistencia que opone el hilo. Una vez se obtiene el valor de resistencia se anota y se prosigue con las siguientes muestras.

Una vez se ha realizado el test a todas las muestras de cada hilo, se debe realizar una media aritmética (\bar{x}) de los resultados obtenidos, con el objetivo de poder trabajar con un único valor. Finalmente, y mediante un simple cálculo explicado posteriormente, se obtiene la resistencia lineal de cada hilo.

Es importante medir de vez en cuando una resistencia física de valor conocido, de modo que se puede detectar si el aparato se ha descalibrado. Idealmente, se debería medir dicha resistencia antes de empezar y al terminar las medidas de cada hilo diferente, asegurando que durante las pruebas la máquina funciona correctamente.

Cabe recordar también que durante la producción de las muestras se debe manipular lo menos posible los hilos, ya que la humedad que puede absorber el hilo de las manos humanas podría afectar a los resultados.

- Resultados

A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

Nº muestra	Hilo A (KΩ)	Hilo B (KΩ)	Hilo C (KΩ)	Hilo D (KΩ)	Hilo E (KΩ)	Hilo F (KΩ)
1	290	900	75	110	97	2800
2	120	85	79	93	75	200
3	150	100	92	100	82	900
4	410	70	130	200	71	190
5	160	100	130	82	66	95
6	860	920	120	90	240	100
7	220	140	120	100	83	92
8	140	700	140	220	86	380
9	190	100	100	150	83	180
10	160	510	160	110	80	600
\bar{x}	270	362,5	114,6	125,5	96,3	553,7
Resistencia lineal para L=1m						
\bar{x}	5400 KΩ/m	7250 KΩ/m	2292 KΩ/m	2510 KΩ/m	1926 KΩ/m	11074 KΩ/m

Tabla 5. Resultados de resistencia de los hilos conductores experimentales

Es importante recordar que para calcular la resistencia lineal solo hay que realizar el siguiente factor de conversión:

$$R_L = \frac{R[K\Omega]}{5[cm]} \times \frac{100[cm]}{1[m]} \quad (4)$$

En general, la dispersión de resultados en todos los hilos es bastante grande. Este suceso es debido a que, durante la producción de los hilos, la cantidad de PANI que se ha adherido al mismo no es uniforme.

Independientemente de la dispersión, se puede observar fácilmente que la resistencia que presentan todos los hilos en general es elevada.

- Conclusiones

En primer lugar, solo mediante la observación de los hilos, ya se puede ver que sus secciones no son uniformes debido, de nuevo, a su proceso de fabricación, como se puede observar en la Figura 28. Como se ha dicho anteriormente, la producción de estos hilos se basa en la polimerización in-situ, un proceso que no es preciso a nivel de uniformidad en cuanto a la sección, ya que se trata de una reacción química y, es muy complejo que dicha reacción se de a lo largo de todo el hilo en la misma cantidad.



Figura 28. Hilo conductor experimental

Por este motivo, las resistencias presentadas tienen una desviación alta, pero coherente dentro de estos parámetros.

En segundo lugar, se puede ver claramente que la concentración de PANI en el hilo tiene una relación directa con su conductividad, de modo que los hilos con concentraciones menores ofrecen una resistencia eléctrica más elevada, mientras que los hilos que cuentan con mayor concentración de este polímero, presentan resistencias menores.

Finalmente, se puede concluir que el test no ha sido concluyente, a nivel de determinación del valor resistivo de cada hilo, ya que las desviaciones entre mediciones son muy grandes. Aun así, se ha podido comprobar las propiedades eléctricas del hilo, de modo que, a estas alturas, ya se puede decir que es probable que se consiga diseñar un sensor mediante este tipo de hilo conductor experimental.

Propiedades físico-químicas

Una vez analizadas las propiedades eléctricas del hilo, el siguiente paso es determinar sus propiedades físicas, que incluyen un análisis del aspecto del hilo, las características físicas más importantes, así como las químicas, donde se determinará la resistencia del hilo a diversos reactivos, bien sean de carácter ácido o básico.

El conocimiento de esta información será de vital importancia para la posterior producción del sensor, ya que aparte de cumplir con unos requisitos eléctricos, también tiene que ser viable desde el punto de vista productivo; información que vendrá dada por los test de carácter físico y químico.

Desafortunadamente, la realización de dichos test no ha sido posible debido a la situación actual de pandemia, ya que no ha sido posible asistir a los laboratorios. A pesar de no poder llevar a cabo dicha parte experimental, se pueden dar las definiciones de los test planteados, así como una justificación de su motivo de realización.

En cuanto al aspecto, para comprender la estructura del hilo es indispensable realizar una observación microscópica del mismo. El test consistiría en realizar un análisis microscópico de diversas secciones del hilo. De este modo, se podría sacar información de su hilatura, así como de las irregularidades seccionales vistas anteriormente.

El siguiente factor a medir o determinar es el título. El título de un hilo es un sistema de unidades de medida usado en la industria textil, usado para caracterizar los hilos y, de este modo, establecer las bases para poder compararlos entre ellos. El título se refiere a la relación entre la longitud y la masa del hilo.

Existen dos tipos de titulación: los sistemas indirectos y los directos. Los sistemas directos mantienen la longitud fija y el parámetro que varía según el hilo es la masa, de modo que cuanto más elevado es el número, más grueso es el hilo. El Tex y el Denier son dos titulaciones de este tipo, siendo el Tex la masa en gramos de 1000 metros de hilo en cuestión y el Denier, la masa en gramos de 9000 metros del hilo.

Contrariamente, los sistemas indirectos mantienen la masa fija y el parámetro que varía según el hilo es la longitud, de modo que cuanto más elevado es el número, más fino es el hilo. El número métrico y el número inglés son dos titulaciones de este tipo, siendo el número métrico

la cantidad de metros del hilo en cuestión que pesan 1 gramo y el número inglés, la cantidad de madejas de 768 metros de hilo que pesan 453 gramos (1 libra).

Para desarrollar el test correctamente y fidedignamente, hay que seguir las normas UNE 40600-5:1996 [5] y UNE 2060:1996 [6].

La obtención del título del hilo conlleva una información de vital importancia para ajustar los parámetros de la maquinaria necesaria para bordar o tejer con el hilo en cuestión. Aparte, aporta una información muy valiosa de carácter comercial, ya que el precio del hilo viene influido, en gran parte, por el título que presenta.

El siguiente parámetro a estudiar es la resistencia a la tensión. Se trata de la magnitud de fuerza que puede soportar un hilo. Es un dato de importancia para poder caracterizarlo, ya que aportaría información que sería útil en la fase de tejeduría o bordado. Al tejer un hilo, bien sea utilizando la técnica de calada o de punto, éste debe soportar un rango de tensiones determinado. Por tanto, la realización de este test determinaría en qué grado se puede tejer o bordar con este hilo.

También daría información sobre a qué magnitud de esfuerzos se puede someter el hilo y/o el tejido una vez construido.

Para finalizar con las propiedades de carácter físico, se planteó la realización de un test de fricción. La realización de dicho test daría información sobre el uso, a nivel temporal, que se le puede dar al objeto construido a partir del hilo experimental. Ya que la fricción es, en gran medida, la magnitud que desgasta los artículos textiles. De modo que mayor resistencia a la fricción, mayor durabilidad del artículo.

En cuanto a las propiedades químicas, se ha planteado su realización para poder determinar la compatibilidad del hilo con diferentes reactivos, muy enfocado a qué tipo de aprestos y acabados puede soportar la estructura conformada por el hilo conductor experimental.

Se planteó también la realización de un test de tolerancia a los ácidos y a las bases, con el objetivo de determinar cuál es el pH óptimo para trabajar con el hilo, así como a partir de qué pH dicho hilo comienza a degradarse y a perder propiedades.

Otro test de interés, es el test de resistencia a la llama, ya que proporcionaría información muy útil sobre la forma de quemar del hilo, que de bien seguro será importante para la

realización del sensor, ya que la tolerancia a la llama está muy presente en todo tipo de normativas.

Desgraciadamente, la realización de todos estos test ha quedado invalidada por la situación de pandemia, como se ha dicho anteriormente. Aunque la llevada a cabo de estas pruebas hubiera proporcionado mucha información útil para el desarrollo del proyecto, se seguirá adelante con los datos obtenidos hasta el momento, así como las especificaciones provistas por la universidad de Shaoxing, donde se creó el hilo.

También se hará uso de suposiciones e hipótesis en caso que sea necesario, a falta de su validación por los diferentes test.

Producción

Una vez se han estudiado las propiedades que caracterizan el hilo experimental, es interesante comentar su producción, desde los materiales usados, hasta la técnica de hilado. Al tratarse de un hilo experimental, las producciones se realizan a pequeña escala, de modo que también se estudiará la posibilidad de una producción a una mayor escala y su factibilidad.

Los materiales usados comprenden el filamento de PPTA de 1036.5dTex/395², usado como sustrato. La anilina (An), usada como monómero; el persulfato de amonio (APS) con la función de elemento oxidante y, el ácido clorhídrico usado como dopante. El UPR se usa como la matriz del composite. También se hace uso de un acelerador y un agente de curado, estándares, adquiribles en cualquier mercado químico.

El tratamiento conductivo del filamento de PPTA es aplicado mediante un sistema casero de tratamiento conductivo. El filamento de PPTA es extraído de una bobina y se pasa por dos tanques de inmersión sucesivamente. El primer tanque está lleno de una mezcla de anilina y ácido clorhídrico, el segundo está compuesto por una solución de persulfato de amonio.

Después de absorber el ácido clorhídrico y la anilina, el hilo se conduce al segundo tanque donde absorbe la solución de persulfato de amonio de forma inmediata.

A continuación, el filamento se almacena en otro contenedor donde la impregnación de anilina, ácido clorhídrico y persulfato de amonio se puedan oxidar y polimerizar en un

² Nomenclatura usada para determinar un multifilamento, un multifilamento de título 1036.5dTex formado por 395 filamentos.

ambiente de fase no líquida, con el objetivo de formar la capa conductora de PANI en la superficie del hilo, como se muestra en la Figura 29.

La concentración de ácido clorhídrico/anilina es de 3 mol/L y, la velocidad del proceso del tratamiento conductivo es de 20m/min.

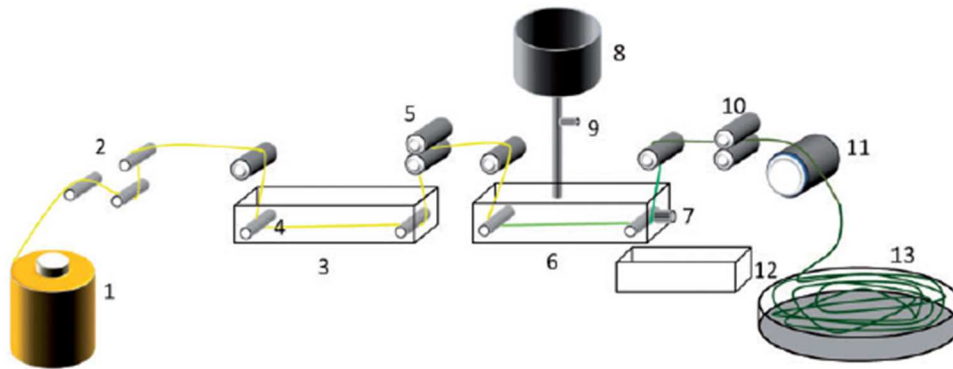


Figura 29. Esquema de la producción del hilo experimental [4]

La velocidad de producción es lenta para poder hacer grandes cantidades, pero tiene sentido si se tiene en cuenta que se trata de un dispositivo casero. Existen máquinas en la industria con un alto nivel de automatización que pueden realizar el proceso de las inmersiones de forma mucho más rápida.

Sería necesario reajustar los parámetros de velocidad de los rodillos transportadores para que el filamento estuviera inmerso el tiempo adecuado y, posiblemente redimensionar los tanques con las dos soluciones para el proceso se produzca con éxito.

Adicionalmente se puede añadir tanques de almacenaje de las dos soluciones con un dispensador programado para que rellene los tanques de inmersión a medida que estos se vacían. De modo que se ahorra tiempo en la preparación de ambas soluciones ya que se haría en grandes cantidades y se optimiza el proceso de rellenado de los tanques de inmersión, minimizando así el error humano y el tiempo de preparación.

De modo que se concluye que con el dispositivo casero no se puede industrializar el hilo, pero mediante la adquisición de la maquinaria adecuada sería posible obtener producciones a mayor escala.

Discusión

Una vez realizado el estudio completo del hilo experimental, así como una visión general de los principales sensores existentes en el mercado, ha llegado el momento de llevar a cabo un cruce de estos datos con el objetivo de determinar qué sensor es el más adecuado para ser fabricado mediante el hilo conductor experimental del que se dispone.

Haciendo un repaso de los sensores estudiados, estos se pueden dividir según el principio físico en el que se basan. Existen sensores capacitivos, inductivos, piezoeléctricos, ópticos, químicos y piezoresistivos/resistivos.

A partir del estudio realizado sobre los sensores, se sabe que ciertos sensores requieren de ciertas propiedades de sus componentes para su correcto funcionamiento. Es decir, el hilo experimental debería poseer dichas propiedades para poder formar parte del conjunto del sensor.

Basándonos en este parámetro se puede realizar la siguiente enumeración de los requerimientos para cada sensor estudiado:

- Un sensor capacitivo necesita de un material con propiedades dieléctricas para su funcionamiento.
- Un sensor inductivo necesita de una espiral inductiva y un oscilador para su correcto funcionamiento.
- Un sensor piezoeléctrico necesita de un material con propiedades piezoeléctricas para su correcto funcionamiento.
- Un sensor óptico necesita de un material con propiedades ópticas para su correcto funcionamiento.
- Un sensor químico necesita de una capa de detección química para su correcto funcionamiento.
- Un sensor piezoresistivo necesita de un material con propiedades piezoresistivas para su correcto funcionamiento. Sin embargo, un sensor resistivo, solo necesita de un material con propiedades resistivas variables.

Cabe mencionar que el hilo experimental solo posee propiedades resistivas, de modo que todos los sensores que necesiten de materiales con otras propiedades quedan descartados.

También es importante recordar que se quiere construir el sensor a partir de hilo experimental, sin la adición de ningún otro componente, es decir, el objetivo es el que el propio hilo, con una configuración concreta, actúe como sensor por sí mismo. Por este motivo, los sensores que necesitan de piezas o elementos adicionales para su funcionamiento también quedan descartados.

A continuación, se muestra una tabla donde se recogen estos datos con una organización más visual:

Tipo sensor	Requerimiento físico	Requerimiento adicional	Compatibilidad hilo experimental
Capacitivo	Material conductor	n/a	Compatible
Inductivo	Material conductor	Espiral inductiva y oscilador	No compatible
Piezoeléctrico	Material piezoeléctrico	n/a	No compatible
Óptico	Material óptico	n/a	No compatible
Químico	Material conductor	Capa detección química	No compatible
Piezoresistivo	Material piezoresistivo	n/a	No compatible
Resistivo	Material conductor	n/a	Compatible

Tabla 6. Comparación de los requerimientos de cada sensor

Así pues, los sensores más adecuados para ser construido a partir del hilo conductor experimental son los capacitivos y/o los resistivos.

Conclusiones

Con la fase de investigación completada, se puede analizar toda la información extraída. En primera instancia, se han repasado los tipos de sensores según el principio físico por el que se rigen y, se han visto ejemplos de su aplicación en el mundo textil, concretamente dentro de los tejidos inteligentes.

Se ha visto que la mayoría de sensores estudiados pueden tener aplicación en este campo, de modo que cualquiera de ellos podía ser apto para el proyecto. Sin embargo, era necesario llevar a cabo un estudio del hilo conductor experimental, ya que se trata de la parte principal del sensor a realizar, con el objetivo de conocer sus características y propiedades para ver la compatibilidad del hilo con alguno de los sensores.

A pesar no haber podido realizar todos los test, se ha obtenido suficiente información para llevar a cabo el proceso de discusión anterior, donde se comparaban los requisitos de cada sensor con las propiedades y características del hilo conductor experimental, con el objetivo de vislumbrar las posibles compatibilidades.

Adicionalmente, se han creado unos requisitos internos del proyecto referente al sensor a desarrollar. Se quiere que el propio hilo configure el sensor, sin necesidad de otros elementos complementarios.

Mediante el cruce de datos, se han descartados aquellos sensores cuyos requisitos incluyen características y propiedades físicas que el hilo conductor experimental no presenta, es el caso de los sensores piezoeléctricos y ópticos. Ya que sería imposible producir estos tipos de sensores mediante el hilo en cuestión.

A continuación, y haciendo referencia al requisito interno propuesto anteriormente, se han descartado aquellos sensores que necesitan de elementos complementarios para su producción y funcionamiento. Es el caso de los sensores inductivo y químico. Ya que incumplirían dicho requisito.

Finalmente, se han obtenido tres posibles candidatos, el sensor piezoresistivo, el resistivo y el capacitivo. Al no tener más información acerca del hilo, no se sabe si éste posee propiedades piezoresistivas, de modo que, este tipo de sensor queda descartado.

Finalmente, el sensor capacitivo requiere una implementación más compleja que el resistivo, de modo que, tratándose de un hilo experimental, se ha optado por opción más sencilla, de entre los candidatos finales, es decir, el sensor resistivo.

Si bien es cierto que existen multitud de artículos que cuentan con sensores resistivos textiles, este proyecto se centra en estudiar la capacidad de producir uno de estos sensores haciendo uso únicamente del hilo conductor experimental.

Todas las discusiones y conclusiones que se puedan sacar son siempre desde un marco teórico e hipotético, ya que no se ha podido realizar la parte de experimentación. De este modo, la hipótesis que se plantea de ahora en adelante, es la posibilidad de realizar un sensor resistivo mediante el hilo conductor experimental.

Una vez determinado el principio físico que seguirá el sensor en cuestión, es momento de determinar que magnitud se podrá medir mediante este sensor. Según la literatura analizada, este tipo de sensores son adecuados para medir presiones y tensiones mecánicas, ya que el principio físico por el que se rigen dictamina que la aplicación de una deformación, causa una variación en la resistencia ofrecida.

De este modo, las deformaciones pueden venir dadas por la aplicación de una presión o bien, por esfuerzos estáticos como la tracción y compresión.

Si bien es cierto que ambas magnitudes pueden ser medidas con un sensor resistivo, la menos común de entre ellas es la presión, ya que como se ha visto en apartados anteriores, los artículos textiles de sensores resistivos y piezoresistivos medían constantes vitales mediante la tracción y compresión del sensor.

Por este motivo y, aprovechando el nicho de mercado que se ha creado, se determina que se desarrollará un sensor resistivo de presión textil.

TESTING

En todo trabajo es indispensable comprobar de forma experimental las hipótesis planteadas teóricamente. En este caso, la hipótesis principal trata sobre la posibilidad de elaborar un sensor textil resistivo de presión, mediante el bordado o el tejido a partir del hilo experimental estudiado anteriormente.

Inicialmente, se pretendía realizar diversos test, tanto para medir la viabilidad del sensor a nivel funcional, así como para observar qué técnica de producción e integración es la más adecuada, bien sea bordado o tejeduría. Debido a la situación de pandemia actual, comentada anteriormente, la mayoría de pruebas no se han podido realizar, de modo que se seguirá adelante con la hipótesis de implementar un sensor textil resistivo de presión mediante el bordado del hilo conductor experimental. Para comprobar el funcionamiento y la validez de dicha hipótesis se ha recurrido a las simulaciones electromagnéticas del hilo experimental.

Primeramente, se tratará la metodología de trabajo, así como el software empleado. Seguidamente, se realizarán diversos tipos de simulaciones con el objetivo de evaluar el funcionamiento del hilo experimental como sensor. Finalmente, se sacarán las conclusiones e insights de los resultados obtenidos.

Metodología y software

Esta sección cuenta con un marco teórico, donde se pone de manifiesto los principios físicos que se quieren demostrar. Seguidamente, se hará una revisión del software necesario para la experimentación. Finalmente, se explicará la metodología empleada durante el transcurso de dicha parte experimental.

Marco teórico

Con el objetivo de verificar hipótesis planteada anteriormente, se demostrará mediante un método empírico la validez de la siguiente expresión física, que relaciona la deformación con la resistencia; las dos magnitudes que intervienen en un sensor resistivo de presión:

$$\frac{\Delta R}{R_0} = k * \varepsilon \quad (5)$$

Donde:

ΔR es el cambio causado en la resistencia debido a la deformación, medido en ohm [Ω].

R_0 es el valor de la resistencia inicial, medido en ohm [Ω].

ε es la deformación, se trata de una magnitud adimensional.

k es el factor de galga, como todos los factores o constantes, también es un valor adimensional.

Dicha expresión fue desarrollada por Edward E. Simmons y Arthur C. Ruge, en 1938. Lo que esta expresión cuenta es que existe una relación lineal entre el cambio en el valor de la resistencia y la deformación experimentada por el elemento resistivo.

Así mismo, la deformación se puede expresar de la siguiente manera:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (6)$$

Donde:

ΔL es el cambio causado en la longitud del cuerpo debido a una fuerza o presión externa, medido en metros [m].

L_0 es el valor de la longitud inicial, medido en metros [m].

Mediante estas expresiones se puede ver que existe una relación lineal entre la presión aplicada al sensor y los cambios producidos en su valor de resistencia. Demostrando, de un modo teórico, el correcto funcionamiento del sensor resistivo de presión.

Para darle más fiabilidad al concepto, se debería estudiar la relación entre la presión ejercida y la deformación provocada, pero esto variará según la geometría del objeto de estudio.

Adicionalmente, también es interesante estudiar los conceptos de admitancia e impedancia, ya que tendrán relevancia para los cálculos posteriores.

Así pues, se puede definir la admitancia (Y) como la facilidad que un circuito eléctrico ofrece al paso de la corriente, medida en siemens [S]. Fue empleada por Oliver Heaviside en 1887. La fórmula que define este concepto es la siguiente:

$$Y = \frac{1}{Z} \quad (7)$$

Donde:

Z es la impedancia, medida en ohm [Ω].

Se puede ver claramente que la admitancia y la impedancia mantienen una relación inversamente proporcional. Como la fórmula indica, la impedancia es la oposición que un circuito eléctrico ofrece al paso de la corriente, medida en ohm [Ω]. También es un concepto acuñado por Oliver Heaviside.

Ambos conceptos se expresan en forma compleja y, están relacionados con la resistencia del circuito, de modo que serán de vital importancia durante el análisis resistivo del mismo.

Software

Para validar la fórmula de un modo experimental se ha recurrido a las simulaciones, de modo que será necesario un software específico. En este caso, se ha hecho uso del CST Studio Suite, un software de alto rendimiento para el diseño, análisis y optimización de sistemas electromagnéticos [7].

Es posible la realización de simulaciones y análisis de forma rápida y eficaz de diferentes sistemas y elementos de complejidad elevada. Evitando de este modo la producción innecesaria de prototipos físicos para evaluar los distintos escenarios.

En este caso se ha hecho uso del paquete de *statics and low frequency*, ya que es el más adecuado para la simulación de sensores,

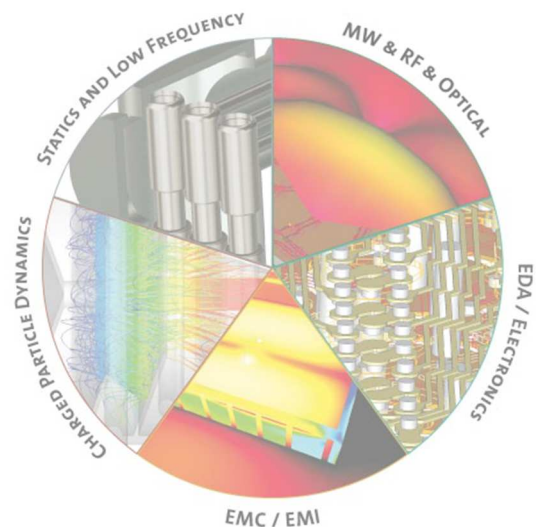


Figura 30. Paquetes del CST [7]

aunque existen otros paquetes que permiten la realización de análisis de comportamiento y rendimiento de antenas y filtros, compatibilidad electromagnética e interferencias, exposición al cuerpo humano de campos electromagnéticos, efectos electromecánicos y térmicos en motores, entre muchos otros.

Adicionalmente, se ha recurrido a otros softwares de diseño, para algunos cálculos estáticos, como el SolidWorks, así como calculadoras programables virtuales para el cálculo complejo y, la simplificación y optimización de las ecuaciones, ya que en algún caso incorporan números imaginarios que dificultan la tarea calculística.

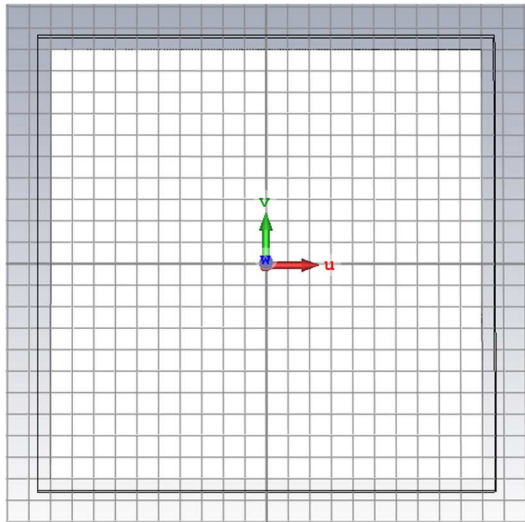
Metodología

Se parte de una suposición muy básica que relaciona el funcionamiento del sensor con las fórmulas explicadas anteriormente. Al aplicar fuerza o presión sobre el material que debe actuar como sensor, éste experimentará una deformación elástica; durante dicha deformación, los valores de resistencia que presenta variarán según la fórmula que relaciona estos dos factores. Al recuperar la posición y/o geometría inicial los valores resistivos deberán restablecerse, así como si se aumenta la presión, causando una deformación mayor, los valores resistivos deberán seguir una relación lineal con los originales y con los obtenidos en deformaciones menores.

En cuanto a la deformación, se ha partido de una ϵ inicial de valor 0 y se ha ido incrementando en intervalos de 0.1 unidades, con el objetivo de ver si se mantiene dicha relación.

Para la realización de este ejercicio de demostración, se ha optado por escoger una geometría sencilla, ya que facilita los cálculos en cuanto a deformaciones y posteriormente, dos geometrías más complejas con el objetivo de evaluar la influencia de la geometría en las prestaciones del sensor.

Referente a la configuración de las simulaciones, hay dos puntos a tener en cuenta. El primero consiste en otorgar las propiedades adecuadas a todo el ecosistema o background del sensor. Es necesario modelar una geometría de superficie que simule el tejido sobre el que se bordará o añadirá (mediante otros métodos textiles) el sensor. Se ha escogido un escenario de algodón, ya que se trata de una fibra muy versátil y usada y, es posiblemente, la superficie donde se terminará implementando. De este modo, el escenario de simulación tendrá el siguiente aspecto:



Se trata de una superficie plana de algodón. Como se ha dicho anteriormente, es indispensable otorgarle las propiedades dieléctricas adecuadas para que la simulación sea fiable.

Al tratarse de un material bastante común y utilizado, el programa cuenta con sus propiedades en la librería de materiales del mismo, de modo que se trata solo de aplicarlo

en el escenario indicado.

Figura 31. Background de algodón en el programa CST

A continuación, se muestran las propiedades del mismo:

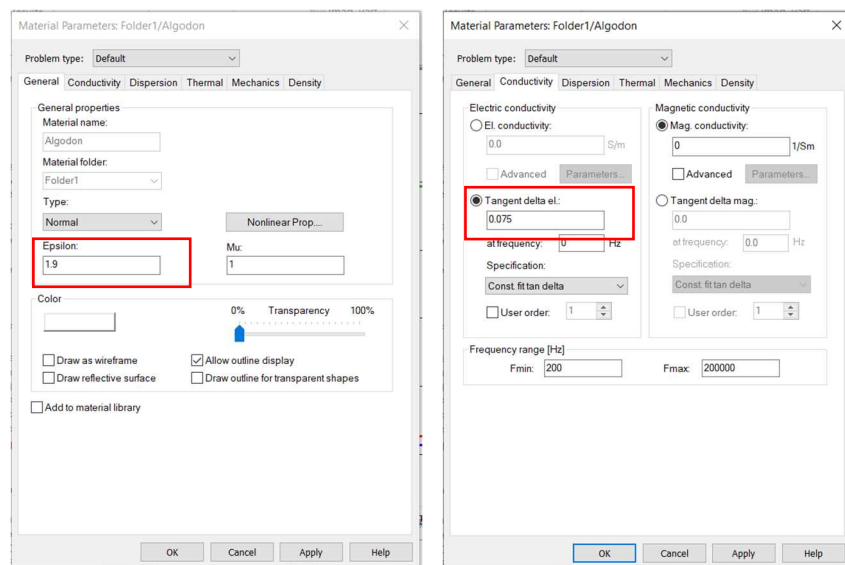


Figura 32. Ventana de la configuración del background de algodón en el programa CST

Los valores más relevantes son la ϵ y la $\tan \delta$. La ϵ hace referencia a la constante dieléctrica (no confundir con la ϵ de deformación, ya que ambas magnitudes comparten la misma letra griega de designación), tiene que ver con la permitividad eléctrica intrínseca de un material.

La $\tan \delta$ es una medida de las pérdidas del material dieléctrico.

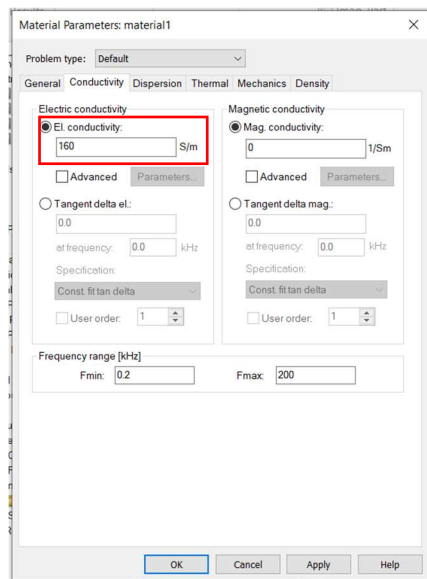


Figura 33. Ventana de la configuración del material del hilo conductor experimental en el programa CST

En cuanto a las propiedades del hilo experimental, se han tomado los valores de conductividad obtenidos por la universidad china de Shaoxing, lugar donde se creó el hilo estudiado; ya que los resultados de conductividad y resistencia realizados en apartados anteriores no fueron concluyentes.

Se trata de una conductividad lineal de 160 S/m.

Volviendo de nuevo al aspecto de las deformaciones, se ha partido de una hipótesis para calcular las geometrías resultantes: al recibir la presión desde la cara superior del prisma, la deformación lógica dictamina que la figura se habrá achatado, aumentando la longitud y la anchura y, reduciendo el espesor, como se muestra en la Figura 34. Se ha considerado que la deformación en los ejes X y Y, serán del mismo factor con el objetivo de facilitar los cálculos.

Se dictamina que el volumen de la geometría debe mantenerse constante, de modo que la cota del espesor deformado se obtiene a partir del cálculo de volúmenes.

En base a estas hipótesis de deformación, se han realizado los cálculos pertinentes para obtener las dimensiones finales:

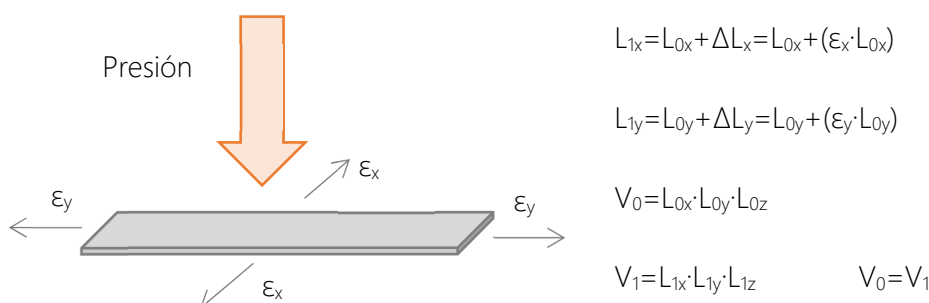


Figura 34. Esquema de la hipótesis de deformación

Este proceso calculístico se repetirá por cada iteración de ϵ .

Una vez se obtengan las dimensiones de las geometrías deformadas, el siguiente paso consiste en realizar las simulaciones con el CST Studio Suite. Caber recordar que hay que especificar las propiedades del material para que éste actúe como el hilo estudiado y las del entorno. Así como dotar al sistema de todos los elementos necesarios para su correcto funcionamiento, en este caso, una fuente de alimentación.

La simulación tendrá el siguiente aspecto:

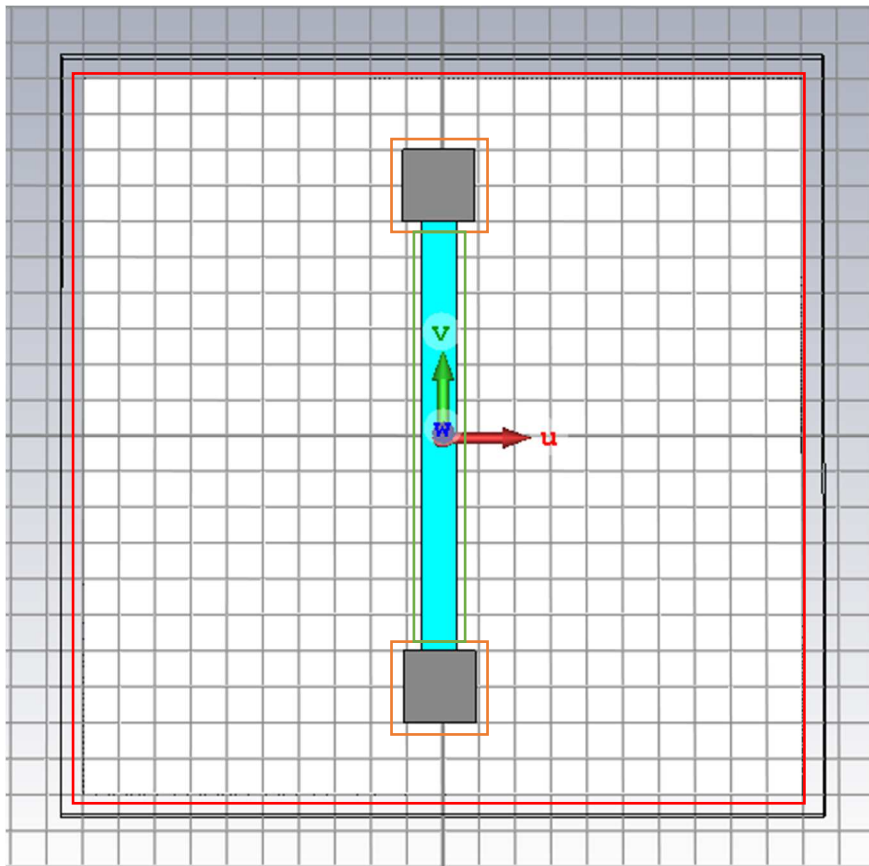


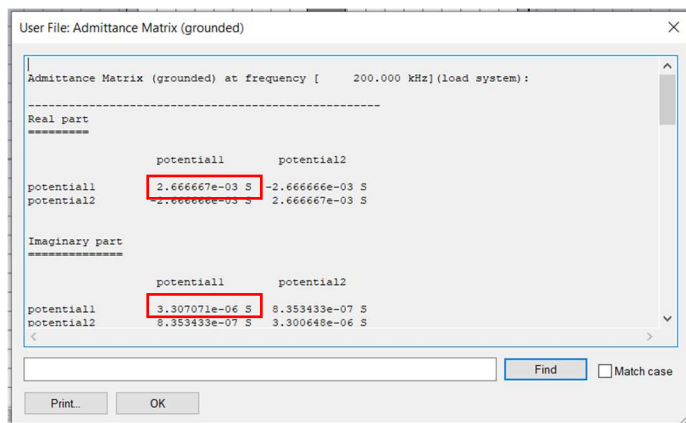
Figura 35. Aspecto de la simulación

Donde la zona encuadrada en rojo es el sustrato o base de algodón, los elementos encuadrados en naranja son los electrodos donde se aplica la fuente de tensión y, finalmente la zona encuadrada en verde representa el bordado del hilo experimental cuya función es actuar como sensor.

Se ha considerado la superficie del sensor de forma homogénea con el objetivo de simplificar la complejidad y el tiempo de simulación.

El siguiente paso consiste en la obtención de los valores de resistencia que ofrece el sensor. El problema que se plantea es que el programa ofrece valores de admitancia, de modo que, para obtener la resistencia, se deberá realizar el inverso de dicho valor, con el objetivo de obtener la impedancia y, de este último valor, coger solo la parte real del número complejo.

Al tratarse conceptos que operan con números complejos, dado que el simulador considera elementos parásitos de tipo reactivo, los cálculos se complican, de modo que se ha hecho uso de calculadoras y programas de cálculo especializados para realizar dichas operaciones.



$$Y = 2.67 \times 10^{-3} + 3.31 \times 10^{-6}i \text{ S}$$

Para la resistencia, se toma la parte real de la impedancia:

$$Z = 1/Y \rightarrow R = 375 \Omega$$

Figura 36. Ventana de resultados del programa CST

Una vez obtenidos los valores de resistencia, se vuelve a comenzar el proceso aumentando el valor de ϵ . Se deben calcular las nuevas dimensiones de la geometría, hay que reproducirlas en el programa de simulación, se deben obtener los valores de admitancia y, finalmente realizar los cálculos necesarios para obtener los valores de resistencia.

Una vez realizadas diversas iteraciones, se puede proceder al análisis de resultados y, comprobar si existe una relación lineal entre la deformación y la resistencia.

Con todos los pasos a seguir ya definidos, es momento de explicar qué tipo de simulaciones se realizarán. Por un lado y, como ya se ha dicho anteriormente, se estudiarán tres geometrías, una simple y dos complejas, con el objetivo de ver el efecto de las geometrías en los resultados.

Por otro lado, se aplicarán dos tipos de deformaciones, una uniformemente repartida por toda la geometría de estudio y otra, aplicada localmente en una parte de las geometrías. Mediante este estudio se podrá ver cómo actúan los sensores cuando solo se presiona una parte de los mismos.

Ensayos de deformación uniforme

Como justo se acaba de mencionar, en estos ensayos, la deformación aplicada será uniforme en toda la geometría de estudio. En cuanto a geometrías, como también se acaba de mencionar, se estudiará una geometría simple y dos complejas.

Geometría simple

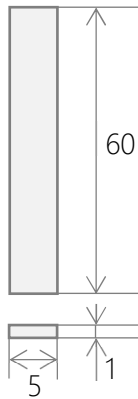


Figura 37. Esquema de la geometría simple (unidades en mm)

En este caso, la geometría resistiva inicial se trata de un prisma de 60mm de longitud, 5mm de anchura y 1mm de espesor, representando el bordado del hilo experimental, como se muestra en la Figura 37.

En esta primera simulación, se han realizado 10 iteraciones, aumentando en 0.1 la deformación en cada iteración. Se recuerda que la hipótesis plantea que la deformación ocasionaría un aumento de longitud y la anchura y, una reducción en el espesor. La longitud y anchura resultantes se calculan a partir de la deformación, y el espesor resultante se calcula con una comparación de volúmenes.

Se ha decidido realizar 10 iteraciones porque el valor final de la deformación corresponde a 1, hecho que significa que el objeto se ha deformado la misma longitud que la longitud inicial, es decir, que ha duplicado sus dimensiones, en cuanto a longitud y anchura. Se trata de una deformación a la que raramente llegará el sensor y, por este motivo se ha propuesto este límite.

A continuación, se muestran dos imágenes que ilustran la figura inicial, sin deformación y, la figura resultante final con deformación $\epsilon=1$:

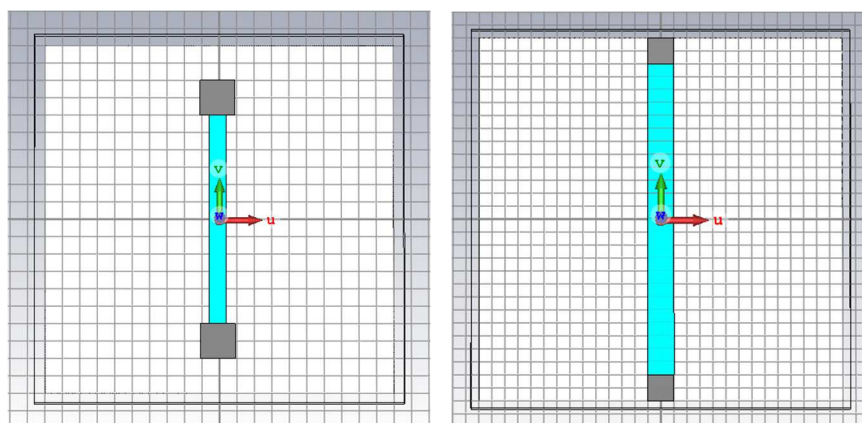


Figura 38. Comparación de la figura sin deformación y con deformación máxima en el CST

Se puede apreciar que el tamaño del dispositivo ha aumentado. Cabe recalcar que la extensión de la superficie de algodón ha aumentado sus dimensiones para que el sensor pueda caber dentro, este aumento no afecta a los resultados de resistencia.

Teóricamente, se debería establecer una relación lineal entre la deformación y la resistencia. Para demostrar dicho hecho, a continuación, se muestra una tabla con los valores obtenidos en las simulaciones de cada iteración:

Iteración	ϵ	Admitancia (S)	Impedancia (Ω)	Resistencia (Ω)
Original	0	$2.67 \times 10^{-3} + 3.28 \times 10^{-6}i$	$375 - 0.46i$	375
Iteración 1	0.1	$2.21 \times 10^{-3} + 3.52 \times 10^{-6}i$	$450.18 - 0.72i$	450.18
Iteración 2	0.2	$1.85 \times 10^{-3} + 3.76 \times 10^{-6}i$	$540.34 - 1.10i$	540.34
Iteración 3	0.3	$1.58 \times 10^{-3} + 3.91 \times 10^{-6}i$	$633.76 - 1.57i$	633.76
Iteración 4	0.4	$1.36 \times 10^{-3} + 4.58 \times 10^{-6}i$	$734.997 - 2.48i$	734.997
Iteración 5	0.5	$1.15 \times 10^{-3} + 4.83 \times 10^{-6}i$	$866.85 - 3.44i$	866.85
Iteración 6	0.6	$1.04 \times 10^{-3} + 5.06 \times 10^{-6}i$	$960.04 - 4.67i$	960.04
Iteración 7	0.7	$9.22 \times 10^{-4} + 5.88 \times 10^{-6}i$	$1083.77 - 6.91i$	1083.77
Iteración 8	0.8	$8.23 \times 10^{-4} + 6.22 \times 10^{-6}i$	$1214.93 - 9.18i$	1214.93
Iteración 9	0.9	$7.39 \times 10^{-4} + 6.22 \times 10^{-6}i$	$1353.62 - 11.95i$	1353.62
Iteración 10	1	$6.67 \times 10^{-4} + 6.76 \times 10^{-6}i$	$1499.83 - 15.21i$	1499.83

Tabla 7. Resultados de la simulación de la geometría simple

Para mostrar de un modo más visual la relación entre la deformación y el cambio de resistencia se ha generado un gráfico. Se ha hecho uso de una regresión lineal para obtener la ecuación de la recta que define la relación entre deformación y cambio de resistencia:

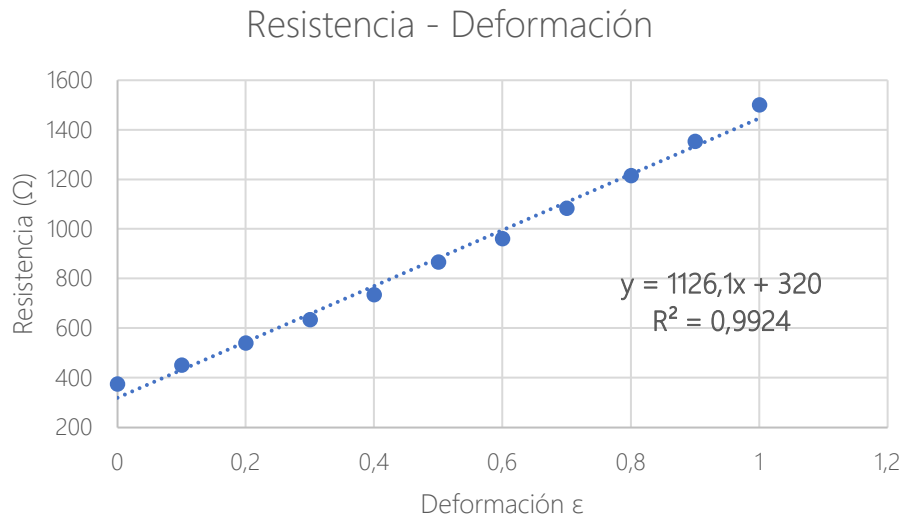


Figura 39. Gráfico resistencia-deformación de la geometría simple

Como se puede observar, sí existe una relación lineal entre la deformación y la resistencia del sensor, de modo que, mediante este ensayo, se verifica el correcto funcionamiento del hilo experimental como sensor textil resistivo de presión.

Para terminar de demostrar que la relación planteada por la fórmula 5, que relaciona la deformación y la resistencia, se cumple, se muestra otra gráfica que enfrenta el incremento de la resistencia respecto a la resistencia inicial contra la deformación.

Quedando de este modo:

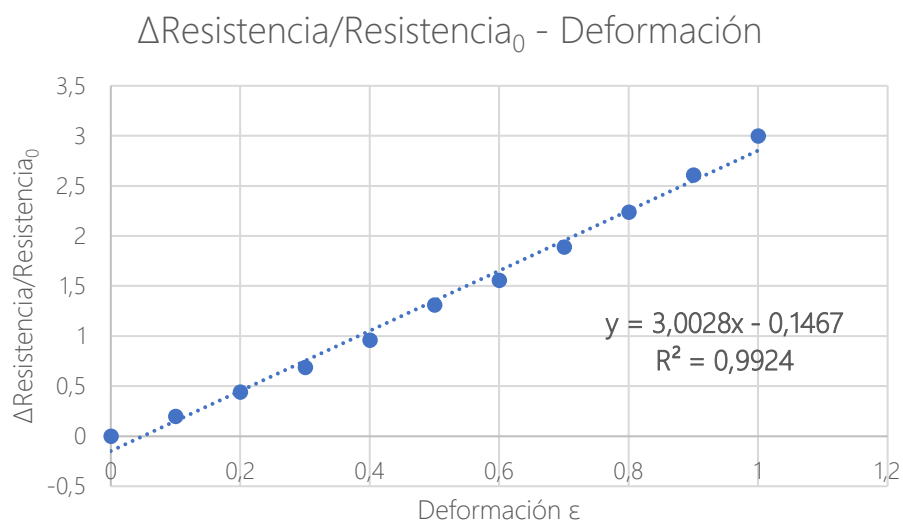


Figura 40. Gráfico incremento resistencia-deformación de la geometría simple

En este caso también se ha hecho uso de una regresión lineal debido a la tendencia lineal de los datos observados para extraer la ecuación de la recta. Si se analiza la fórmula que relaciona estas dos magnitudes se puede ver claramente que se trata de una ecuación de una recta:

$$\frac{\Delta R}{R_0} = k * \varepsilon \quad (5)$$

$$y = a * x + b \quad (8)$$

Donde la relación entre el incremento de la resistencia respecto la resistencia inicial corresponde al valor de y de la ecuación general de la recta (8). La deformación corresponde al valor de x y, la k determina el pendiente de dicha recta, correspondiendo al valor de a (pendiente), en la ecuación general de la recta.

En el caso de estudio, se puede ver que existe un b , de valor muy pequeño surgida por la regresión lineal y los redondeos empleados. Del mismo modo, se puede ver que la k , tiene un valor próximo a 3.

Teóricamente, la relación hallada, debería cumplirse para cualquier geometría con la que se quiera bordar o tejer el hilo. Para comprobar esta afirmación, se ha repetido el proceso con dos geometrías más complejas.

Geometría compleja – Configuración 1

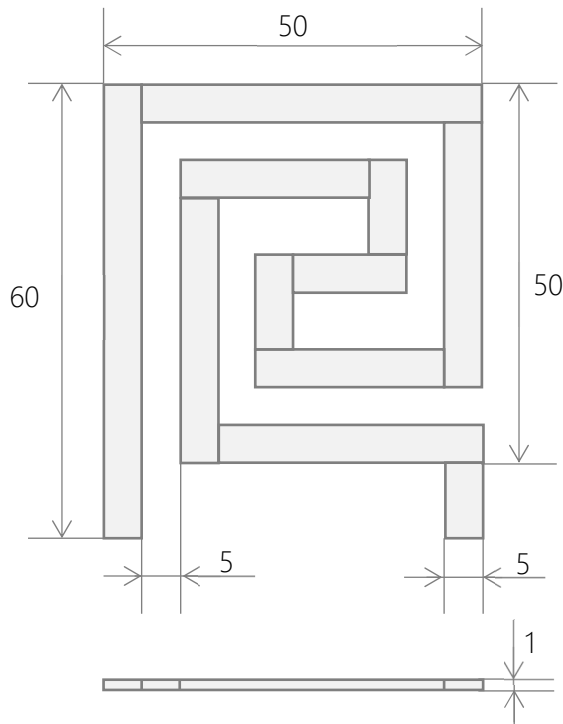


Figura 41. Esquema de la configuración 1 de las geometrías complejas (medidas en mm)

Para la primera configuración de geometría compleja se ha optado por una forma reticular, donde el bordado se enrolla sobre sí mismo, como se muestra en la Figura 41.

A estas alturas no existe un criterio de diseño de la geometría, sino que simplemente se testean distintas geometrías para comparar la relación a tres bandas entre la geometría misma, la deformación y la resistencia.

Como en el caso anterior, se han realizado 10 iteraciones, aumentando en 0.1 (medida adimensional) la deformación en cada iteración. Para calcular la geometría resultante de cada deformación se ha seguido la hipótesis de deformación comentada. Como en el caso anterior, aumenta la longitud y la anchura y, se reduce el espesor. La longitud y anchura resultantes se calculan a partir de la deformación, y el espesor resultante se calcula con una comparación de volúmenes.

Siguiendo las directrices del caso anterior, se ha decidido realizar 10 iteraciones porque el valor final de la deformación corresponde a 1, hecho que significa que el objeto se ha deformado la misma longitud que la longitud inicial, es decir, que ha duplicado sus dimensiones, en cuanto a longitud y anchura. Se trata de una deformación a la que raramente llegará el sensor y, por este motivo se ha propuesto este límite.

A continuación, se muestran dos imágenes que ilustran la figura inicial, sin deformación y, la figura resultante final con deformación $\epsilon=1$:

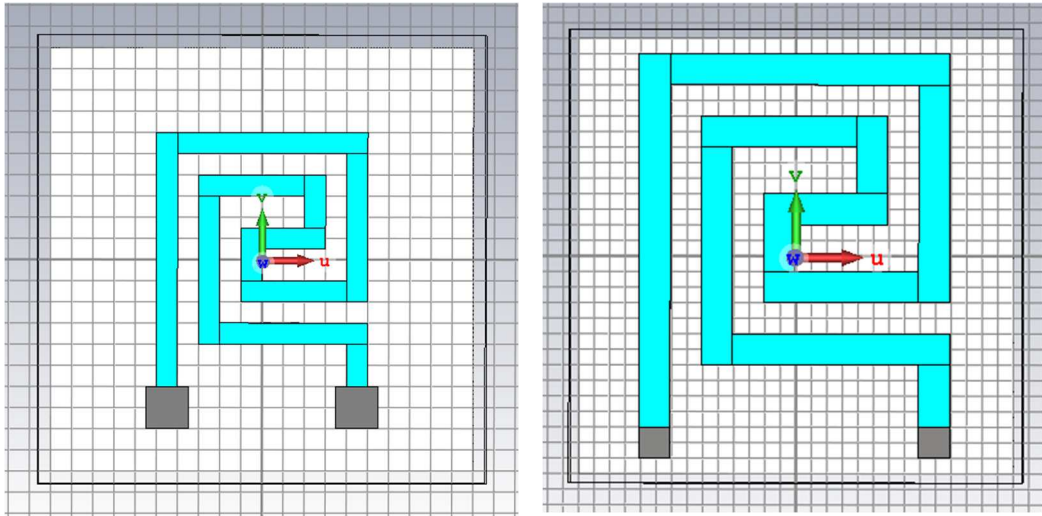


Figura 42. Comparación de la figura sin deformación y con deformación máxima en el programa CST

Se puede apreciar que el tamaño del dispositivo ha aumentado. Cabe recalcar que la extensión de la superficie de algodón ha aumentado sus dimensiones para que el sensor pueda caber dentro, este aumento no afecta a los resultados de resistencia.

Como en el estudio anterior, se mostrará una tabla con los resultados, así como los gráficos pertinentes para mostrar la relación entre la deformación y la resistencia. Con esta configuración los datos obtenidos son los siguientes:

Iteración	ϵ	Admitancia (S)	Impedancia (Ω)	Resistencia (Ω)
Original	0	$5.67 \times 10^{-4} + 9.74 \times 10^{-6}i$	$1763.73 - 29.37i$	1763.73
Iteración 1	0.1	$4.69 \times 10^{-4} + 1.10 \times 10^{-5}i$	$2133.00 - 50.14i$	2133.00
Iteración 2	0.2	$3.92 \times 10^{-4} + 1.22 \times 10^{-5}i$	$2549.14 - 79.27i$	2549.14
Iteración 3	0.3	$3.34 \times 10^{-4} + 1.33 \times 10^{-5}i$	$2993.06 - 118.93i$	2993.06
Iteración 4	0.4	$2.87 \times 10^{-4} + 1.50 \times 10^{-5}i$	$3470.71 - 181.77i$	3470.71
Iteración 5	0.5	$2.51 \times 10^{-4} + 1.73 \times 10^{-5}i$	$3970.66 - 274.63i$	3970.66
Iteración 6	0.6	$2.20 \times 10^{-4} + 1.87 \times 10^{-5}i$	$4505.98 - 383.18i$	4505.98
Iteración 7	0.7	$1.95 \times 10^{-4} + 2.06 \times 10^{-5}i$	$5070.09 - 534.18i$	5070.09

Iteración	ϵ	Admitancia (S)	Impedancia (Ω)	Resistencia (Ω)
Iteración 8	0.8	$1.75 \times 10^{-4} + 2.30 \times 10^{-5}i$	$5632.94 - 742.36i$	5632.94
Iteración 9	0.9	$1.57 \times 10^{-4} + 2.54 \times 10^{-5}i$	$6212.81 - 1004.61i$	6212.81
Iteración 10	1	$1.42 \times 10^{-4} + 2.82 \times 10^{-5}i$	$6787.78 - 1353.15i$	6787.78

Tabla 8. Resultados de la configuración 1 de las geometrías complejas

Como se ha mencionado anteriormente y, para obtener una lectura más visual de los datos se ha generado un gráfico que enfrenta las deformaciones con las resistencias obtenidas:

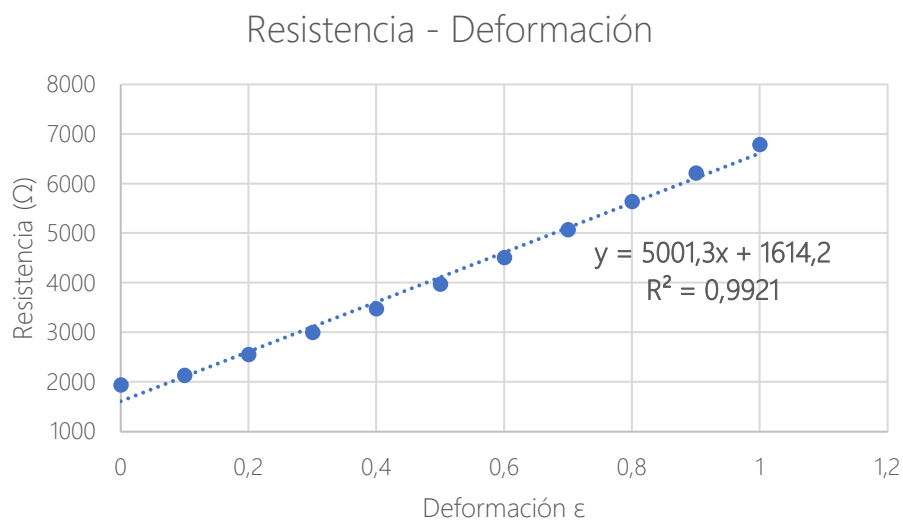


Figura 43. Gráfico resistencia-deformación de la configuración 1 de las geometrías complejas

Como dictaminaba la teoría, la relación entre deformación y resistencia sigue siendo lineal a pesar de tratarse de una geometría más compleja.

En cuanto a la relación entre el incremento de resistencia y la resistencia inicial y , la deformación (relación descrita en la fórmula 5), el resultado es el siguiente:

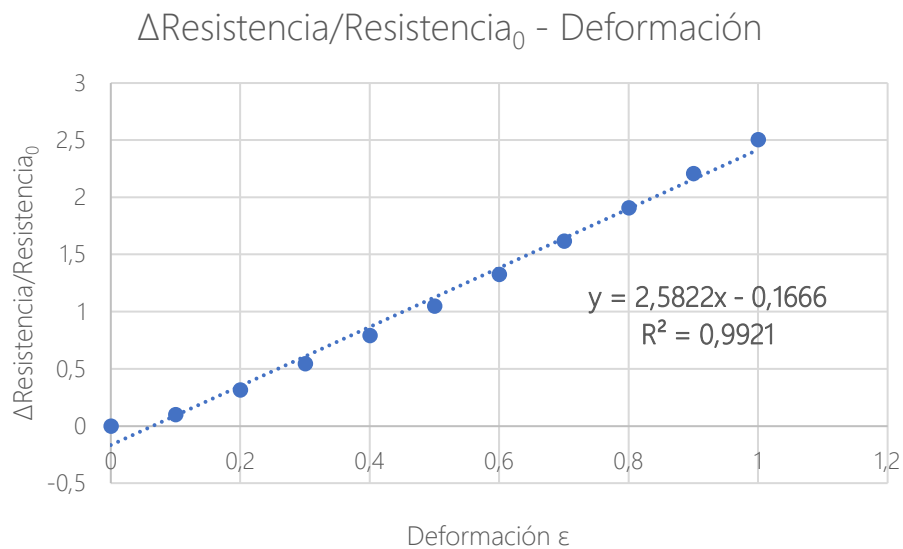


Figura 44. Gráfico incremento resistencia-deformación de la configuración 1 de las geometrías complejas

Si se comparan las ecuaciones de la recta resultantes de las dos geometrías estudiadas, se puede ver claramente que existe cierta diferencia en el pendiente de las mismas, es decir, el valor de k de la ecuación que relaciona resistencia y deformación ha variado.

Geometría compleja – Configuración 2

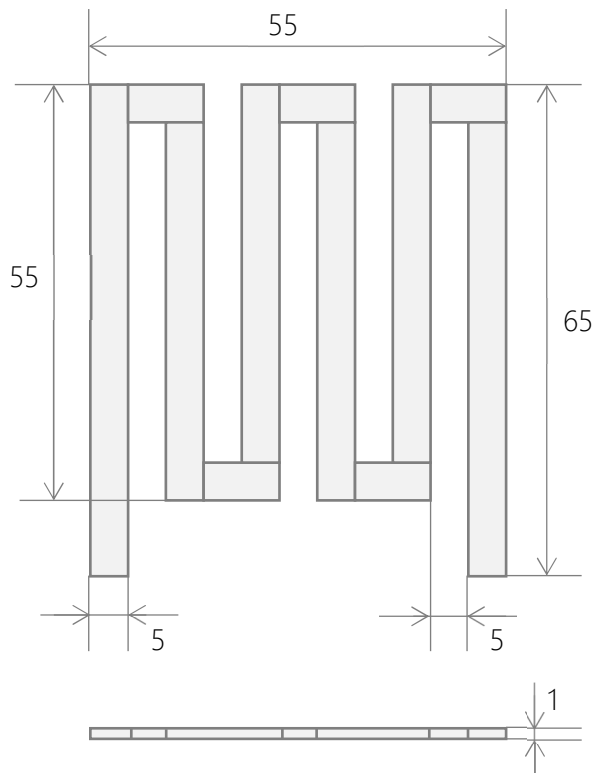


Figura 45. Esquema de la configuración 2 de las geometrías complejas (medidas en mm)

Para la segunda configuración de la geometría compleja, se optó por una forma de zigzag, recordando a la representación gráfica de una resistencia.

Como se ha dicho en el caso anterior, a estas alturas no existen aún criterios de diseño, simplemente se testean distintas geometrías para comparar la relación a tres bandas entre la geometría misma, la deformación y la resistencia.

En este caso, se puede apreciar que se trata de una estructura con secciones más alargadas que en la configuración anterior. Se trata de una estrategia típica

para optimizar el área en la implementación de sensores.

Como se ha venido haciendo en los casos anteriores, se han realizado 10 iteraciones, aumentando en 0.1 la deformación en cada iteración. También se ha seguido el mismo método para calcular las dimensiones de las diferentes geometrías deformadas.

Siguiendo las directrices de los casos anteriores, se ha decidido realizar 10 iteraciones porque el valor final de la deformación corresponde a 1, una deformación a la que raramente llegará el sensor y, por este motivo se ha propuesto este límite.

A continuación, se muestran dos imágenes que ilustran la figura inicial, sin deformación y, la figura resultante final con deformación $\epsilon=1$:

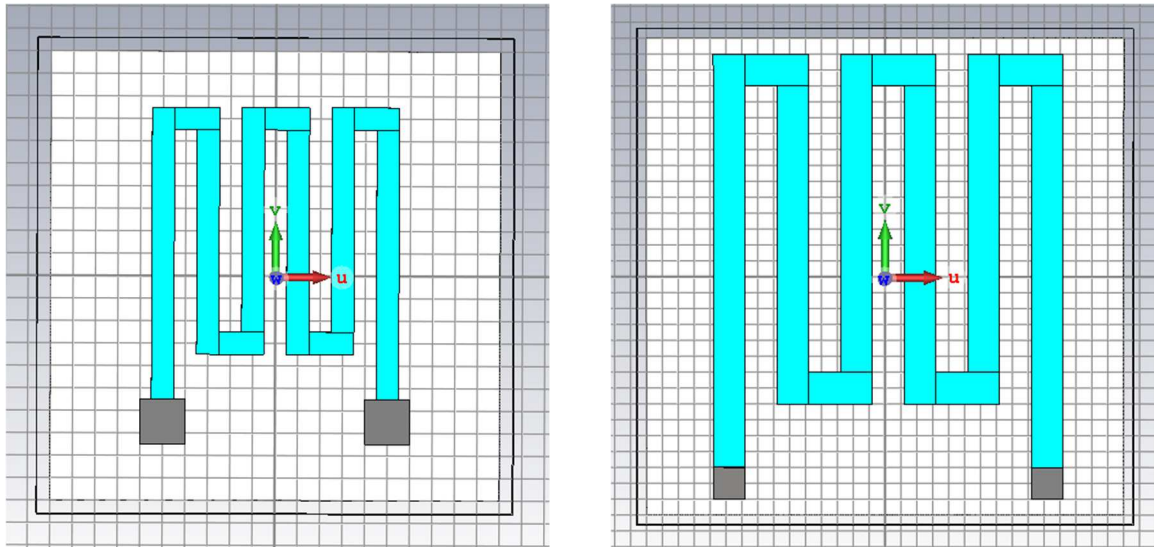


Figura 46. Comparación de la figura sin deformación y con deformación máxima en el programa CST

Se puede apreciar que el tamaño del dispositivo ha aumentado. Cabe recalcar que la extensión de la superficie de algodón ha aumentado sus dimensiones para que el sensor pueda caber dentro, este aumento no afecta a los resultados de resistencia.

Como en los estudios anteriores, se mostrará una tabla con los resultados, así como los gráficos pertinentes para mostrar la relación entre la deformación y la resistencia. Con esta configuración los datos obtenidos son los siguientes:

Iteración	ϵ	Admitancia (S)	Impedancia (Ω)	Resistencia (Ω)
Original	0	$4.59 \times 10^{-3} + 1.08 \times 10^{-5}i$	$2175.90 - 51.32i$	2175.90
Iteración 1	0.1	$3.81 \times 10^{-4} + 1.24 \times 10^{-5}i$	$2621.75 - 85.68i$	2621.75
Iteración 2	0.2	$3.19 \times 10^{-4} + 1.12 \times 10^{-5}i$	$3132.06 - 139.37i$	3132.06
Iteración 3	0.3	$2.72 \times 10^{-4} + 1.67 \times 10^{-5}i$	$3665.37 - 225.58i$	3665.37
Iteración 4	0.4	$2.34 \times 10^{-4} + 1.81 \times 10^{-5}i$	$4245.30 - 328.02i$	4245.30
Iteración 5	0.5	$2.04 \times 10^{-4} + 2.06 \times 10^{-5}i$	$4850.54 - 490.38i$	4850.54
Iteración 6	0.6	$1.80 \times 10^{-4} + 2.30 \times 10^{-5}i$	$5475.29 - 700.36i$	5475.29
Iteración 7	0.7	$1.59 \times 10^{-4} + 2.58 \times 10^{-5}i$	$6112.61 - 987.36i$	6112.61
Iteración 8	0.8	$1.43 \times 10^{-4} + 2.88 \times 10^{-5}i$	$6740.22 - 1362.11i$	6740.22

Iteración	ϵ	Admitancia (S)	Impedancia (Ω)	Resistencia (Ω)
Iteración 9	0.9	$1.29 \times 10^{-4} + 3.18 \times 10^{-5}i$	$7325.32 - 1813.35i$	7325.32
Iteración 10	1	$1.17 \times 10^{-4} + 3.47 \times 10^{-5}i$	$7882.10 - 2350.57i$	7882.10

Tabla 9. Resultados de la configuración 2 de las geometrías complejas

Como se ha mencionado anteriormente y, para obtener una lectura más visual de los datos se ha generado un gráfico que enfrenta las deformaciones con las resistencias obtenidas:

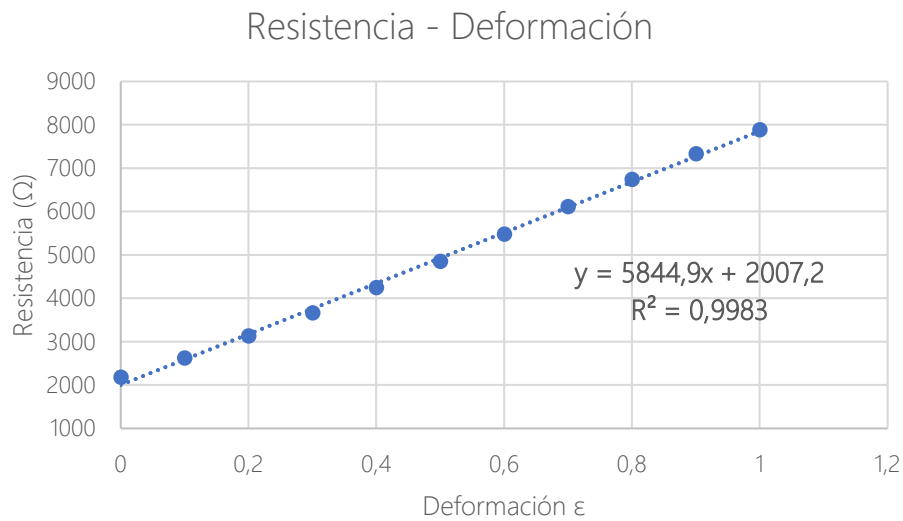


Figura 47. Gráfico resistencia-deformación de la configuración 2 de las geometrías complejas

Como dictaminaba la teoría, la relación entre deformación y resistencia sigue siendo lineal a pesar de tratarse de una geometría más compleja.

En cuanto a la relación entre el incremento de resistencia y la resistencia inicial y , la deformación (relación descrita en la fórmula 5), el resultado es el siguiente:

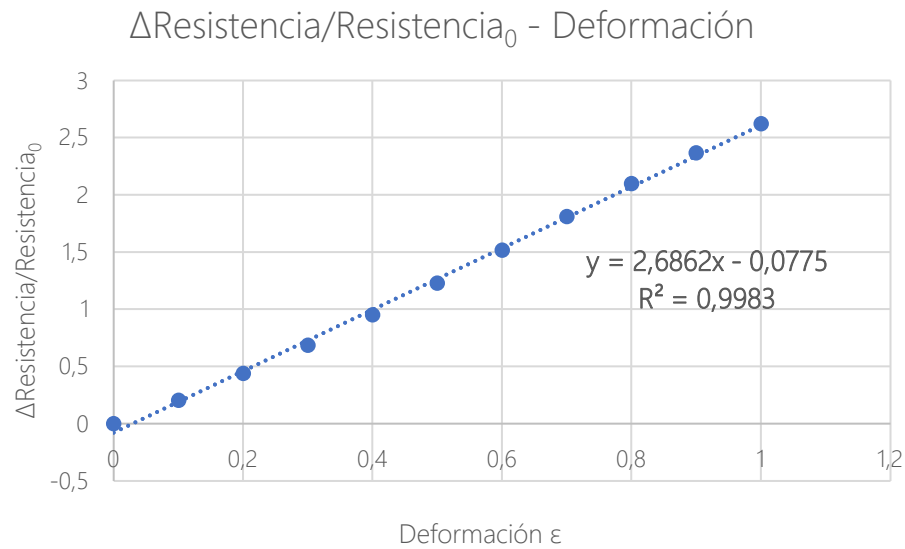


Figura 48. Gráfico incremento resistencia-deformación de la configuración 2 de las geometrías complejas

Si se comparan las ecuaciones de la recta resultantes de las dos geometrías complejas estudiadas, se puede ver que existe cierta diferencia en el pendiente de las misma, es decir, el valor de k de la ecuación que relaciona resistencia y deformación ha variado, pero en poco grado. Sin embargo, ha cambiado en mayor grado si se compara con la geometría simple.

Comparación

Con el objetivo de mostrar más visualmente la diferencia de pendientes entre las tres geometrías se ha generado otro gráfico:

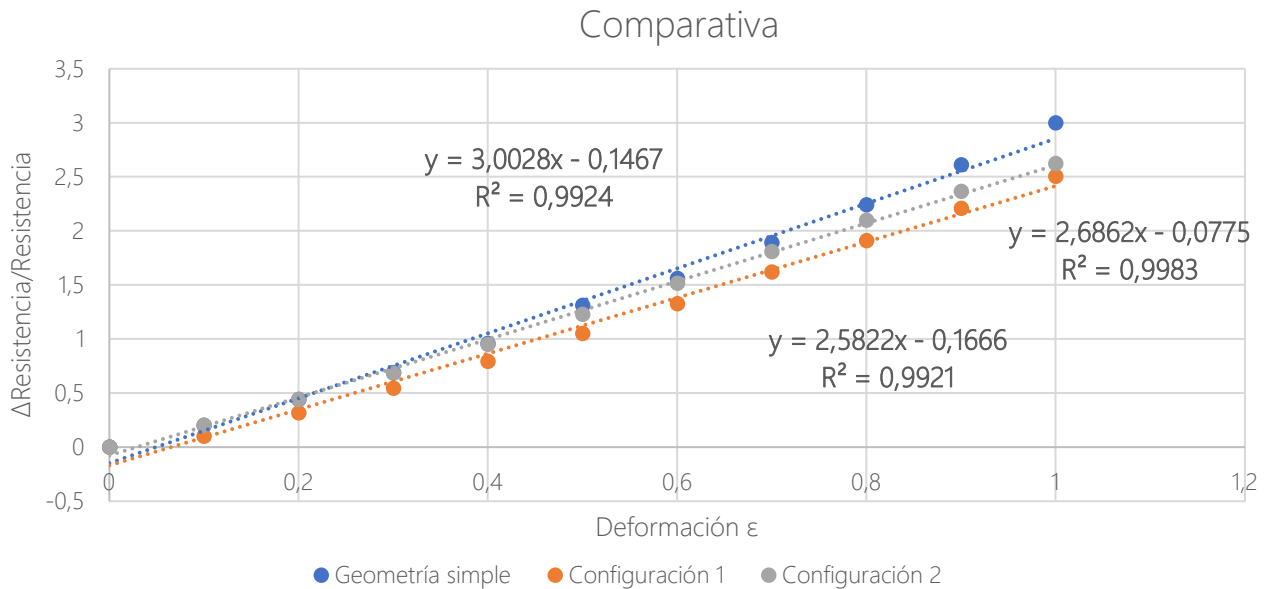


Figura 49. Gráfico comparativo de las tres geometrías estudiadas

Se puede ver claramente que las rectas difieren ligeramente unas de las otras. A pesar de esto, todos los pendientes son parecidos, la diferencia se puede achacar a los redondeos en los cálculos de las deformaciones en ambas geometrías, así como a las perturbaciones parasitarias resultantes de la curvatura del material, en las geometrías complejas.

Una vez analizados los resultados obtenidos de las simulaciones, se pueden llegar a diversas conclusiones.

En primer lugar, es importante mencionar que se ha demostrado la existencia de una relación lineal entre la deformación ocasionada por una fuerza externa o presión en un elemento resistivo y, la variación de resistencia que ofrece. Demostrando de este modo, el correcto funcionamiento de un sensor textil resistivo de presión.

Se trataba también de verificar una fórmula ya existente que relacionaba los conceptos de presión y resistencia. Se confirma que ha sido verificada.

Se han simulado tres geometrías, una simple y dos de complejidad más elevada. Si bien es cierto que en todos los casos se mantiene dicha relación lineal, el pendiente de la recta que define dichas relaciones debería coincidir, ya que se trata del mismo material y, no coincide.

Esta discordancia se puede achacar a la acumulación de errores por redondeos efectuados durante los cálculos realizados a lo largo de las simulaciones. De todos modos, los resultados siguen siendo válidos, ya que no se trata de una diferencia significativa.

Es importante mencionar que, en todas las simulaciones, los valores resistivos aumentan a medida que la deformación aumenta (linealmente). Esto es debido a que, a menor grosor y mayor longitud, mayor valor resistivo, ya que se dificulta el paso de los electrones de la corriente.

Es interesante ver que la segunda configuración de la geometría compleja, que está compuesta por segmentos más largos que la primera configuración, presenta un pendiente más elevado.

Un pendiente más elevado significa que los valores de aumento de resistencia crecen más rápidamente por cada valor de deformación, de modo que el rango resistivo comprendido entre deformaciones aumenta.

Cuanto más grande sea este rango, más preciso es el sensor, porque el número de valores resistivos entre dos deformaciones es mayor y, por tanto, existen más diferencia entre los valores resistivos asociados a presiones contiguas.

De este modo queda definido el concepto de sensibilidad, donde el sensor que obtenga un rango mayor de valores resistivos entre dos deformaciones, será el más sensible. Quedando de este modo, la geometría simple como la más sensible, seguido de la segunda configuración de la geometría compleja y, finalmente la primera configuración de la geometría compleja.

Finalmente, es importante mencionar que, para mejorar la calidad de la simulación, se debería realizar un estudio estático del material, con el objetivo de poder determinar qué magnitud de presión ocasionaría las deformaciones estudiadas, así como cerciorarse de que las dimensiones de las geometrías deformadas son correctas.

A pesar de esto, no es posible realizar dicho estudio complementario ya que no se dispone de toda la información necesaria del hilo experimental para desarrollar estudios estáticos.

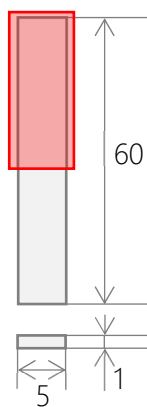
Ensayos de deformación local

En este tipo de ensayos se evaluarán la relación entre resistencia y deformación, cuando se aplica presión solamente sobre una región concreta del elemento resistivo, ya que se trata de un escenario posible y es necesario saber cómo actúa el sensor en dichas condiciones.

A nivel calculístico, las operaciones variarán ya que, al aplicar una deformación local, la deformación general no será la misma.

En cuanto a geometrías, se estudiarán las geometrías presentadas en los ensayos anteriores.

Geometría simple



Como justo se acaba de mencionar, la geometría utilizada es la misma que en los ensayos de presiones uniformes.

En este caso, se ha decidido aplicar presión y, por consiguiente, deformación, desde el centro de la geometría hasta el límite superior vertical. En cuanto a las deformaciones locales, se ha seguido la metodología usada durante todos los ensayos, se han realizado 10 iteraciones, aumentando en 0.1 la deformación en cada iteración. Para el cálculo de dimensiones se han

Figura 50. Esquema de la geometría simple y el área de deformación local (dimensiones en mm)

seguido los mismos pasos mencionados anteriormente, pero únicamente aplicados en una mitad de la geometría, la otra mitad conserva las dimensiones originales, ya que no se ve afectada por la deformación.

Referente a las deformaciones totales, al estar deformando únicamente la mitad de la geometría, el valor de ϵ se divide entre 2, si se hace referencia a la figura entera.

A continuación, se muestran dos imágenes que ilustran la figura inicial, sin deformación y, la figura resultante final con deformación local $\epsilon=1$:

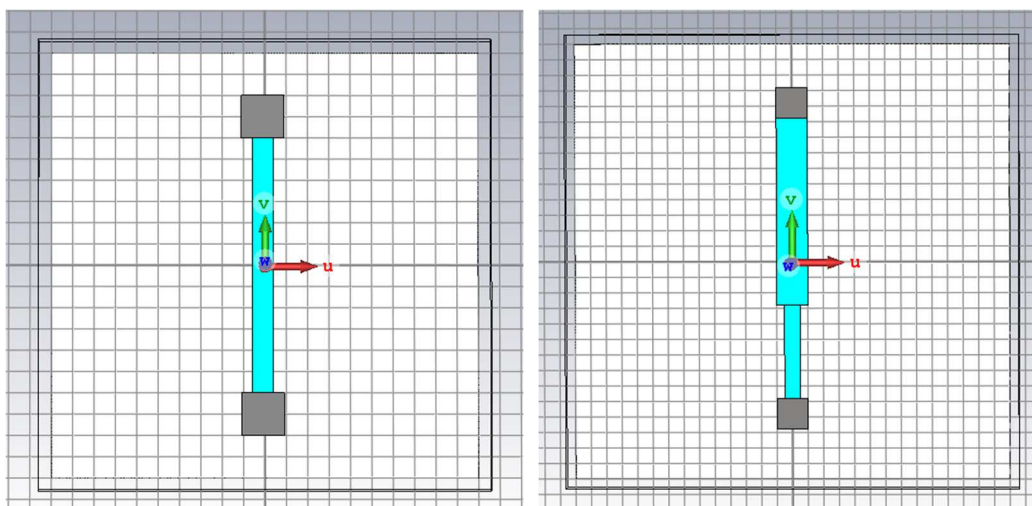


Figura 51. Comparación de la figura sin deformación y con deformación local máxima en el programa CST

Se puede apreciar que el tamaño del dispositivo ha aumentado, de una mitad hacia arriba. Cabe recalcar que la extensión de la superficie de algodón ha aumentado sus dimensiones para que el sensor pueda caber dentro, este aumento no afecta a los resultados de resistencia.

Teóricamente, se debería establecer una relación lineal entre la deformación y la resistencia. Para demostrar dicho hecho, a continuación, se muestra una tabla con los valores obtenidos en las simulaciones de cada iteración:

Iteración	ϵ	Admitancia (S)	Impedancia (Ω)	Resistencia (Ω)
Original	0	$2.67 \times 10^{-3} + 3.28 \times 10^{-6}i$	$375 - 0.46i$	375
Iteración 1	0,05	$2.42 \times 10^{-3} + 3.40 \times 10^{-6}i$	$413.41 - 0.58i$	413.41
Iteración 2	0,1	$2.19 \times 10^{-3} + 3.57 \times 10^{-6}i$	$457.59 - 0.75i$	457.59
Iteración 3	0,15	$1.98 \times 10^{-3} + 3.74 \times 10^{-6}i$	$504.73 - 0.95i$	504.73
Iteración 4	0,2	$1.80 \times 10^{-3} + 3.96 \times 10^{-6}i$	$555.45 - 1.22i$	555.45
Iteración 5	0,25	$1.64 \times 10^{-3} + 4.12 \times 10^{-6}i$	$610.23 - 1.53i$	610.23
Iteración 6	0,3	$1.49 \times 10^{-3} + 4.82 \times 10^{-6}i$	$669.00 - 2.16i$	669.00
Iteración 7	0,35	$1.37 \times 10^{-3} + 4.85 \times 10^{-6}i$	$731.25 - 2.59i$	731.25
Iteración 8	0,4	$1.25 \times 10^{-3} + 5.09 \times 10^{-6}i$	$797.60 - 3.24i$	797.60

Iteración	ϵ	Admitancia (S)	Impedancia (Ω)	Resistencia (Ω)
Iteración 9	0,45	$1.15 \times 10^{-3} + 5.82 \times 10^{-6}i$	$867.83 - 4.38i$	867.83
Iteración 10	0,5	$1.06 \times 10^{-3} + 5.99 \times 10^{-6}i$	$941.87 - 5.32i$	941.87

Tabla 10. Resultados de las deformaciones locales en la geometría simple

Para mostrar de un modo más visual la relación entre la deformación y el cambio de resistencia se ha generado un gráfico. Se ha hecho uso de una regresión lineal para obtener la ecuación de la recta que define la relación entre deformación y cambio de resistencia:

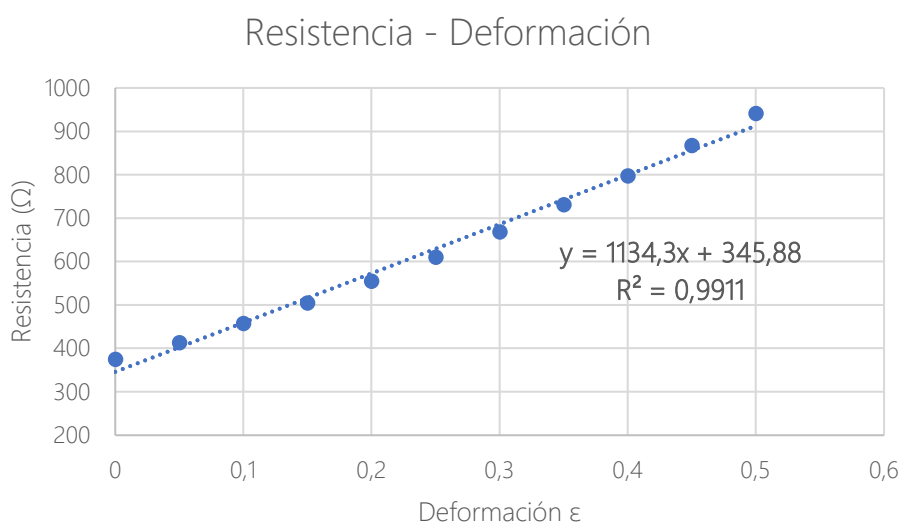


Figura 52. Gráfico resistencia-deformación de la geometría simple en deformaciones locales

Como se puede observar, sí existe una relación lineal entre la deformación y la resistencia del sensor, de modo que, mediante este ensayo, se verifica el correcto funcionamiento del hilo experimental como sensor textil resistivo de presión, aunque solo se aplique presión localmente.

Para terminar de demostrar que la relación planteada por la fórmula que relaciona la deformación y la resistencia se cumple, se muestra otra gráfica que enfrenta el incremento de la resistencia respecto a la resistencia inicial contra la deformación. Quedando de este modo:

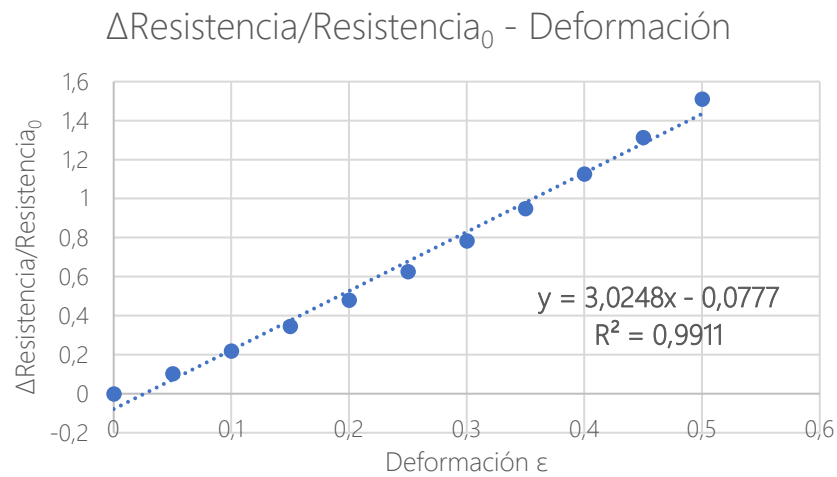


Figura 53. Gráfico aumento resistencia-resistencia de la geometría simple en deformaciones locales

En este caso también se ha hecho uso de una regresión lineal para extraer la ecuación de la recta. La relación sigue siendo lineal y, el pendiente es muy parecido al hallado en su homólogo en el ensayo de deformaciones uniformes.

Geometría compleja – Configuración 1

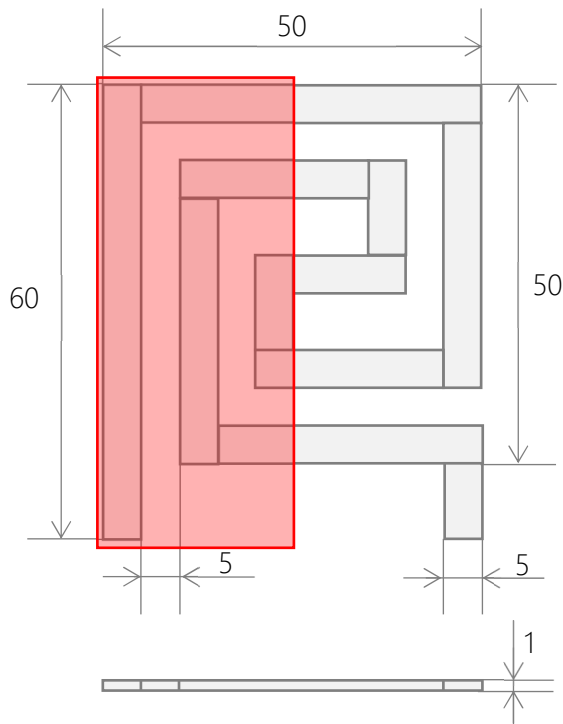


Figura 54. Esquema de la configuración 1 de las geometrías complejas y el área de deformación local (dimensiones en mm)

Como se ha mencionado anteriormente, la geometría utilizada es la misma que en los ensayos de presiones uniformes.

En este caso, se ha decidido aplicar presión y, por consiguiente, deformación, desde el centro de la geometría hasta el límite horizontal izquierdo. En cuanto a las deformaciones locales, se ha seguido la metodología usada durante todos los ensayos, se han realizado 10 iteraciones, aumentando en 0.1 la deformación en cada iteración. Para el cálculo de dimensiones se han seguido los mismos pasos mencionados anteriormente, pero únicamente

aplicados en una mitad de la geometría, la otra mitad conserva las dimensiones originales, ya que no se ve afectada por la deformación.

Referente a las deformaciones totales, al estar deformando únicamente la mitad de la geometría, el valor de ϵ se divide entre 2.

A continuación, se muestran dos imágenes que ilustran la figura inicial, sin deformación y, la figura resultante final con deformación local $\epsilon=1$:

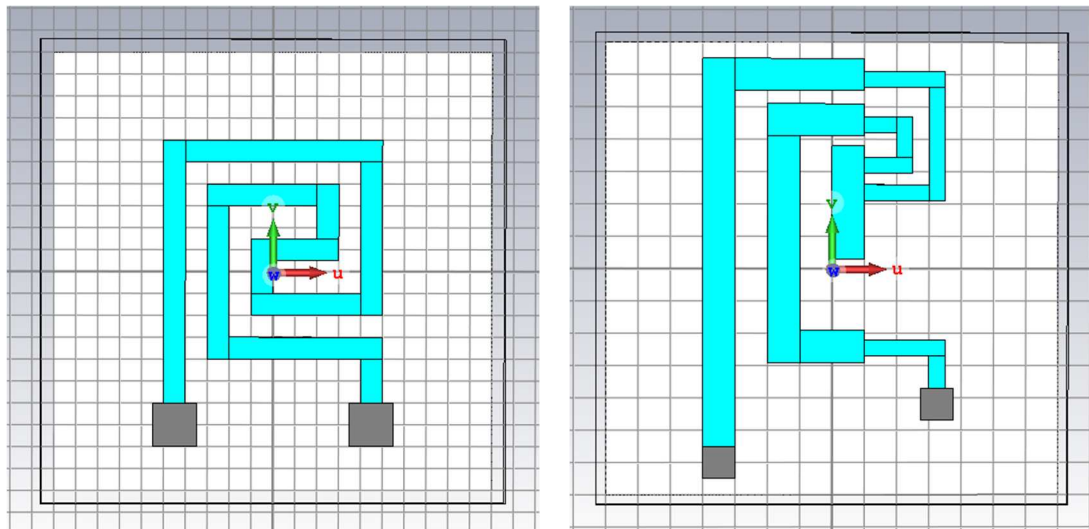


Figura 55. Comparación de la figura sin deformación y con deformación máxima local en el programa CST

Se puede apreciar que el tamaño del dispositivo ha aumentado, de una mitad hacia la izquierda. Cabe recalcar que la extensión de la superficie de algodón ha aumentado sus dimensiones para que el sensor pueda caber dentro, este aumento no afecta a los resultados de resistencia.

Teóricamente, se debería establecer una relación lineal entre la deformación y la resistencia. Para demostrar dicho hecho, a continuación, se muestra una tabla con los valores obtenidos en las simulaciones de cada iteración:

Iteración	ϵ	Admitancia (S)	Impedancia (Ω)	Resistencia (Ω)
Original	0	$5.67 \times 10^{-4} + 9.74 \times 10^{-6}i$	$1763.73 - 29.37i$	1763.73
Iteración 1	0,05	$5.17 \times 10^{-4} + 1.02 \times 10^{-5}i$	$1954.12 - 38.17i$	1954.12
Iteración 2	0,1	$4.65 \times 10^{-4} + 1.06 \times 10^{-5}i$	$2147.46 - 49.09i$	2147.46
Iteración 3	0,15	$4.24 \times 10^{-4} + 1.14 \times 10^{-5}i$	$2358.89 - 63.32i$	2358.89
Iteración 4	0,2	$3.85 \times 10^{-4} + 1.18 \times 10^{-5}i$	$2596.63 - 79.33i$	2596.63
Iteración 5	0,25	$3.51 \times 10^{-4} + 1.35 \times 10^{-5}i$	$2846.67 - 109.95i$	2846.67
Iteración 6	0,3	$3.21 \times 10^{-4} + 1.44 \times 10^{-5}i$	$3107.84 - 139.45i$	3107.84
Iteración 7	0,35	$2.98 \times 10^{-4} + 1.54 \times 10^{-5}i$	$3349.23 - 172.96i$	3349.23
Iteración 8	0,4	$2.75 \times 10^{-4} + 1.62 \times 10^{-5}i$	$3619.97 - 212.47i$	3619.97

Iteración	ϵ	Admitancia (S)	Impedancia (Ω)	Resistencia (Ω)
Iteración 9	0,45	$2.53 \times 10^{-4} + 1.75 \times 10^{-5}i$	$3938.11 - 273.27i$	3938.11
Iteración 10	0,5	$2.33 \times 10^{-4} + 1.84 \times 10^{-4}i$	$4268.04 - 337.25i$	4268.04

Tabla 11. Resultados de la deformación local de la configuración 1 de las geometrías complejas

Para mostrar de un modo más visual la relación entre la deformación y el cambio de resistencia se ha generado un gráfico. Se ha hecho uso de una regresión lineal para obtener la ecuación de la recta que define la relación entre deformación y cambio de resistencia:

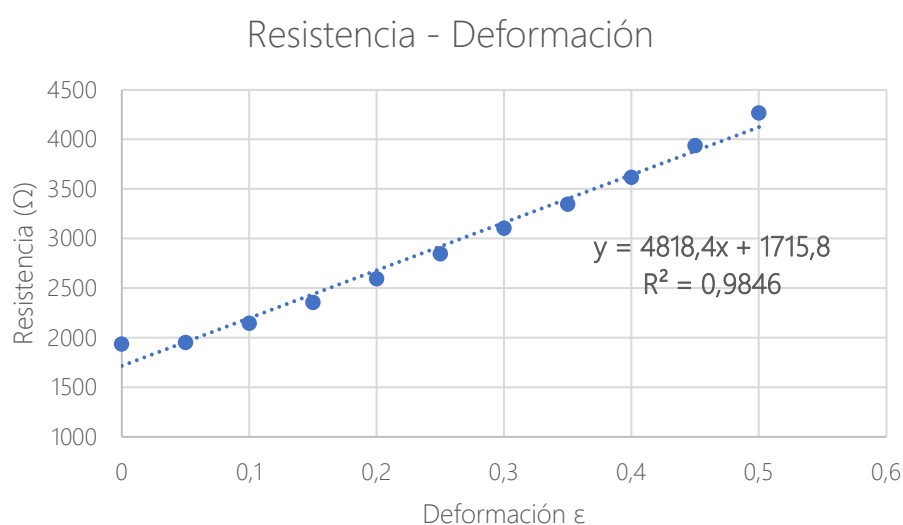


Figura 56. Gráfico resistencia-deformación de la configuración 1 de las geometrías complejas con deformaciones locales

Como se puede observar, sí existe una relación lineal entre la deformación y la resistencia del sensor, de modo que, mediante este ensayo, se verifica el correcto funcionamiento del hilo experimental como sensor textil resistivo de presión, aunque solo se aplique presión localmente.

Para terminar de demostrar que la relación planteada por la fórmula 5, que relaciona la deformación y la resistencia se cumple, se muestra otra gráfica que enfrenta el incremento de la resistencia respecto a la resistencia inicial contra la deformación. Quedando de este modo:

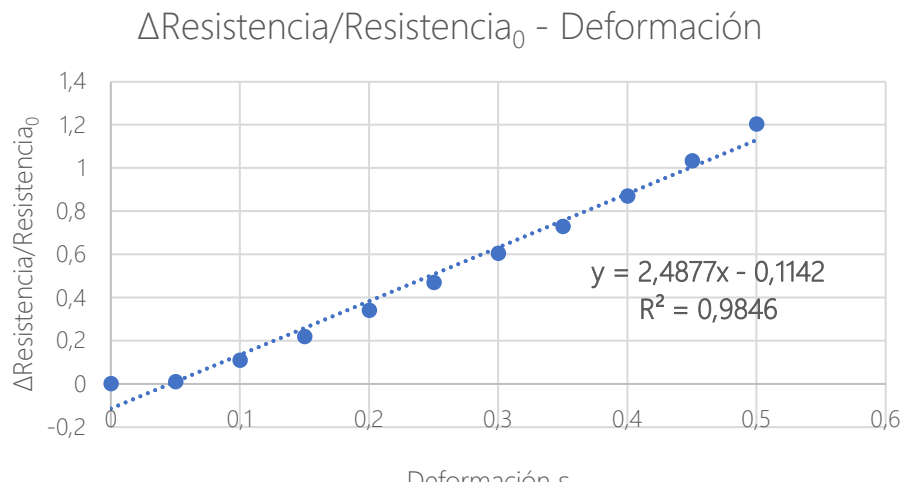


Figura 57. Gráfico aumento resistencia-deformación de la configuración 1 de las geometrías complejas con deformaciones locales

Como en los casos anteriores, también se ha hecho uso de una regresión lineal extraer la ecuación de la recta. La relación sigue siendo lineal y, el pendiente es muy parecido al hallado en su homólogo en el ensayo de deformaciones uniformes.

Geometría compleja – Configuración 2

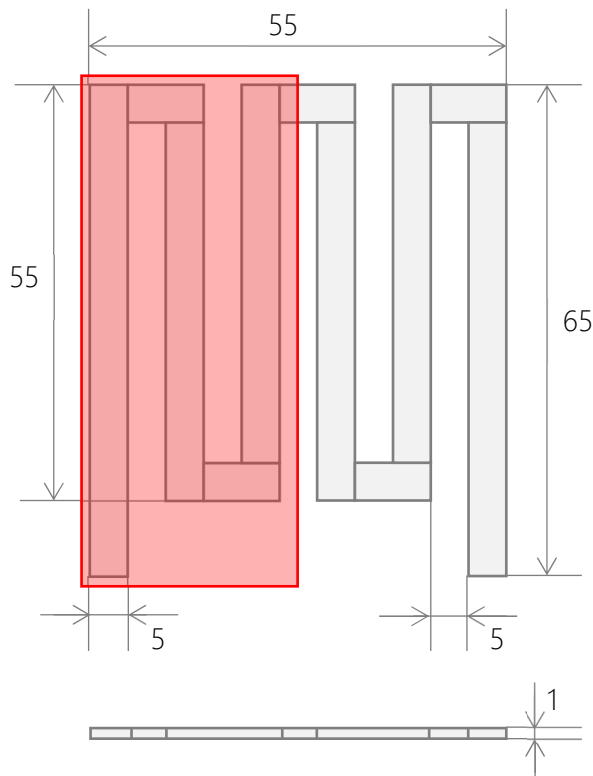


Figura 58. Esquema de la configuración 2 de las geometrías complejas y el área de deformación local (dimensiones en mm)

Como se ha mencionado anteriormente, la geometría utilizada es la misma que en los ensayos de presiones uniformes.

En este caso, se ha decidido aplicar presión y, por consiguiente, deformación, desde el centro de la geometría hasta el límite horizontal izquierdo. En cuanto a las deformaciones locales, se ha seguido la metodología usada durante todos los ensayos, se han realizado 10 iteraciones, aumentando en 0.1 la deformación en cada iteración. Para el cálculo de dimensiones se han seguido los mismos pasos mencionados

anteriormente, pero únicamente aplicados en una mitad de la geometría, la otra mitad conserva las dimensiones originales, ya que no se ve afectada por la deformación.

Referente a las deformaciones totales, al estar deformando únicamente la mitad de la geometría, el valor de ϵ se divide entre 2.

A continuación, se muestran dos imágenes que ilustran la figura inicial, sin deformación y, la figura resultante final con deformación local $\epsilon=1$:

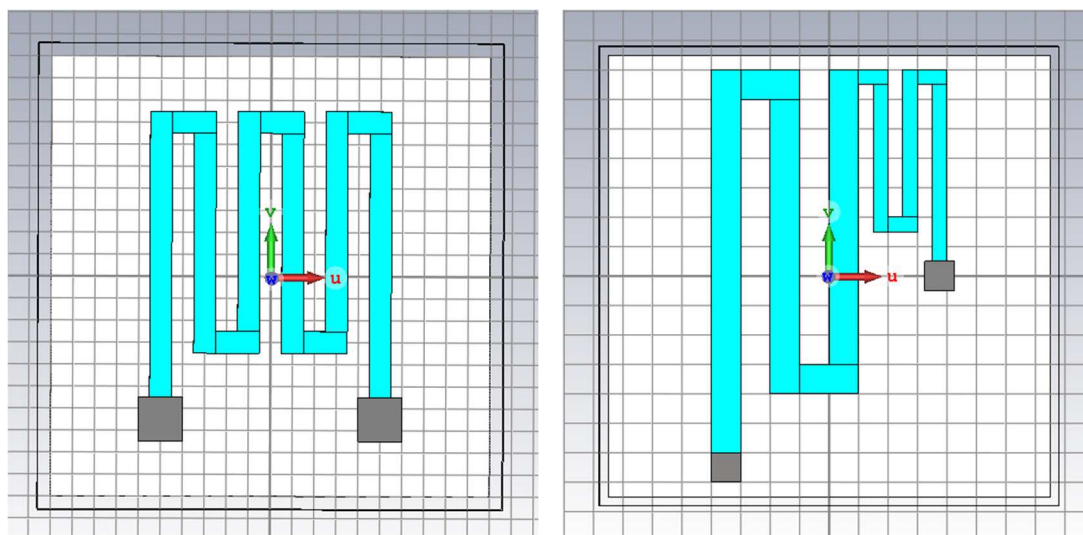


Figura 59. Comparación de la figura sin deformación y con deformación máxima local en el programa CST

Se puede apreciar que el tamaño del dispositivo ha aumentado, de una mitad hacia la izquierda. Cabe recalcar que la extensión de la superficie de algodón ha aumentado sus dimensiones para que el sensor pueda caber dentro, este aumento no afecta a los resultados de resistencia.

Teóricamente, se debería establecer una relación lineal entre la deformación y la resistencia. Para demostrar dicho hecho, a continuación, se muestra una tabla con los valores obtenidos en las simulaciones de cada iteración:

Iteración	ϵ	Admitancia (S)	Impedancia (Ω)	Resistencia (Ω)
Original	0	$4.59 \times 10^{-3} + 1.08 \times 10^{-5}i$	$2175.90 - 51.32i$	2175.90
Iteración 1	0,05	$4.17 \times 10^{-4} + 1.13 \times 10^{-5}i$	$2398.75 - 64.92i$	2398.75
Iteración 2	0,1	$3.76 \times 10^{-4} + 1.23 \times 10^{-5}i$	$2655.29 - 86.51i$	2655.29
Iteración 3	0,15	$3.41 \times 10^{-4} + 1.27 \times 10^{-5}i$	$2927.49 - 108.80i$	2927.49
Iteración 4	0,2	$3.10 \times 10^{-4} + 1.44 \times 10^{-5}i$	$3217.71 - 149.37i$	3217.71
Iteración 5	0,25	$2.82 \times 10^{-4} + 1.55 \times 10^{-5}i$	$3531.82 - 193.77i$	3531.82
Iteración 6	0,3	$2.58 \times 10^{-4} + 1.60 \times 10^{-5}i$	$3863.08 - 239.53i$	3863.08
Iteración 7	0,35	$2.36 \times 10^{-4} + 1.83 \times 10^{-5}i$	$4214.68 - 326.21i$	4214.68

Iteración	ϵ	Admitancia (S)	Impedancia (Ω)	Resistencia (Ω)
Iteración 8	0,4	$2.16 \times 10^{-4} + 1.95 \times 10^{-5}i$	$4585.52 - 413.03i$	4585.52
Iteración 9	0,45	$1.99 \times 10^{-4} + 2.06 \times 10^{-5}i$	$4968.90 - 513.77i$	4968.9
Iteración 10	0,5	$1.84 \times 10^{-4} + 2.24 \times 10^{-5}i$	$5369.25 - 654.36i$	5369.25

Tabla 12. Resultados de la deformación local de la configuración 2 de las geometrías complejas

Para mostrar de un modo más visual la relación entre la deformación y el cambio de resistencia se ha generado un gráfico. Se ha hecho uso de una regresión lineal para obtener la ecuación de la recta que define la relación entre deformación y cambio de resistencia:



Figura 60. Gráfico resistencia-deformación de la configuración 2 de las geometrías complejas con deformaciones locales

Como se puede observar, sí existe una relación lineal entre la deformación y la resistencia del sensor, de modo que, mediante este ensayo, se verifica el correcto funcionamiento del hilo experimental como sensor textil resistivo de presión, aunque solo se aplique presión localmente.

Para terminar de demostrar que la relación planteada por la fórmula 5, que relaciona la deformación y la resistencia se cumple, se muestra otra gráfica que enfrenta el incremento de la resistencia respecto a la resistencia inicial contra la deformación. Quedando de este modo:

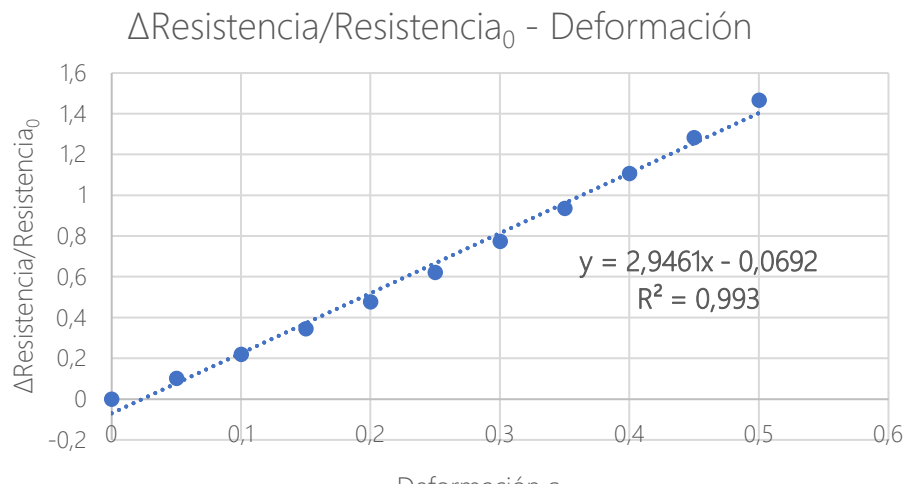


Figura 61. Gráfico aumento resistencia-deformación de la configuración 2 de las geometrías complejas con deformaciones locales

Como en los casos anteriores, también se ha hecho uso de una regresión lineal para extraer la ecuación de la recta. La relación sigue siendo lineal y, el pendiente es muy parecido al hallado en su homólogo en el ensayo de deformaciones uniformes.

Comparación

Con el objetivo de mostrar más visualmente la diferencia de pendientes entre las tres geometrías se ha generado otro gráfico:

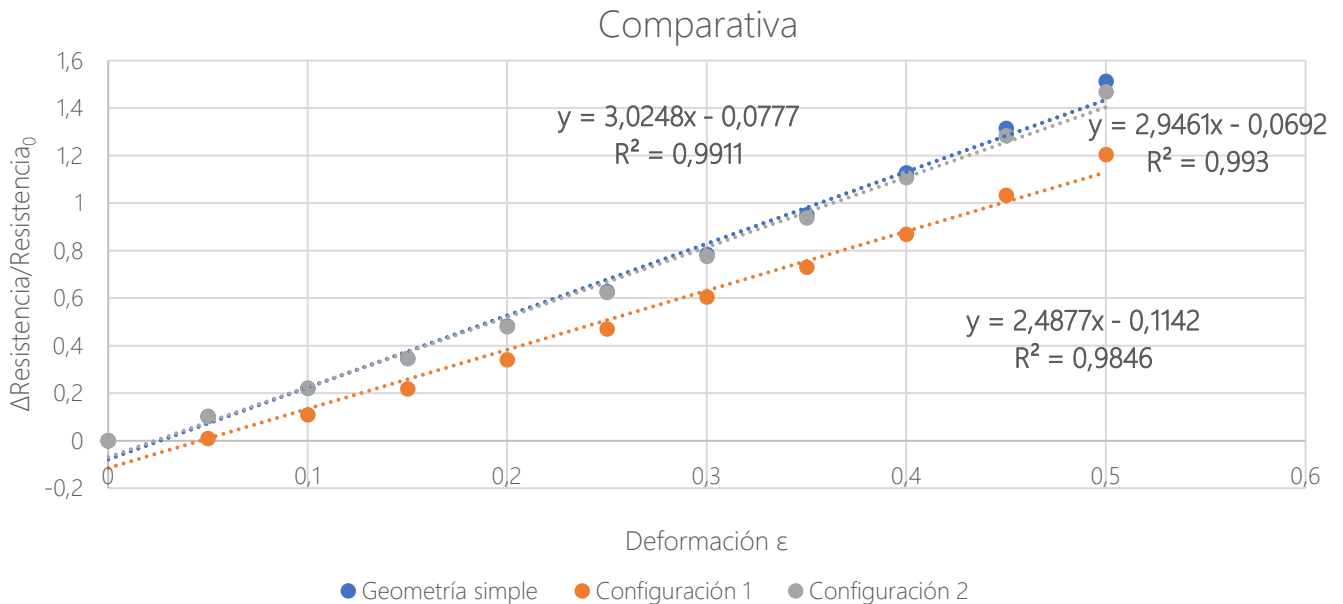


Figura 62. Gráfico comparativo de las tres geometrías estudiadas

Las conclusiones a las que se puede llegar son muy parecidas a las sacadas en el apartado anterior. Los pendientes de las tres geometrías se asemejan, aunque no son del todo iguales debido a los redondeos, regresiones lineales y perturbaciones parasitarias debido a la curvatura del material.

A pesar de estas pequeñas diferencias, se dan los resultados por buenos ya que éstas no son significantes. Demostrando de este modo, la relación lineal entre la deformación y la resistencia, aun tratándose de deformaciones locales y, confirmando también el correcto funcionamiento de la fórmula que relaciona estas dos magnitudes.

Como en el estudio de deformación uniforme, los valores resistivos han aumentado en todas las geometrías porque, aunque se trate de deformaciones locales, la geometría sigue experimentando un alargamiento y una reducción del grosor en algunas áreas, de modo que es lógico que la resistencia aumente.

Siguiendo la tónica vista en los ensayos de deformación uniforme, la segunda configuración de la geometría compleja sigue obteniendo un pendiente más elevado, de modo que, como se ha justificado en apartados anteriores, se trata de un sensor más sensible.

Es fácil llegar a la conclusión de que cuantos más tramos largos y más largos sean dichos tramos, el pendiente será mayor, de modo que la sensibilidad del sensor también aumentará.

Conclusiones

Una vez realizados los dos tipos de ensayos en las tres geometrías escogidas, es interesante comparar los resultados obtenidos entre ensayos diferentes de la misma geometría, de modo que se puede comparar el pendiente de la recta de ambos casos para ver qué relación hay entre las deformaciones locales y uniformes.

Para analizar dicha comparación, se han generado diversos gráficos que muestran los resultados de un modo más visual:

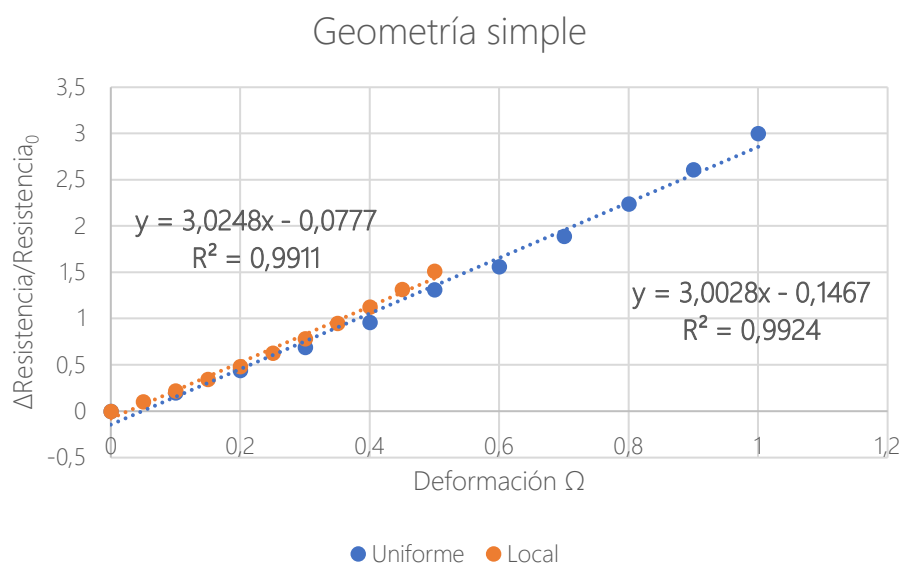


Figura 63. Gráfico comparativo de la geometría simple

En el caso de la geometría simple, los pendientes son muy parecidos, hecho que pone de manifiesto que el tipo de deformación aplicada, bien sea local o uniforme, no influye en la linealidad entre la resistencia y la deformación. Corroborando de nuevo, el correcto funcionamiento del hilo experimental como sensor y, a su vez, la fórmula sobre la que se ha trabajado durante todo el estudio.

A continuación, se muestra el gráfico comparativo para la primera configuración de las geometrías complejas:

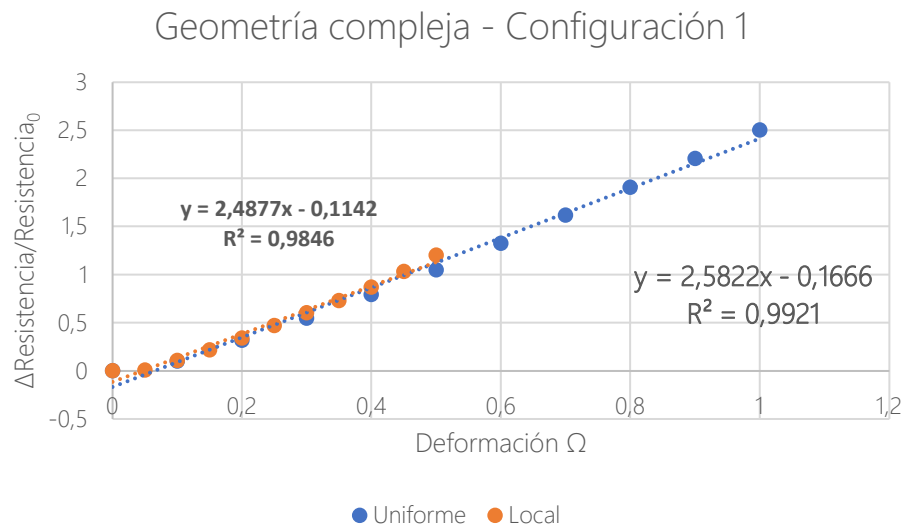


Figura 64. Gráfico comparativo de la configuración 1 de las geometrías complejas

Como en el caso anterior, los pendientes también son muy parecidos. Las mínimas diferencias que puede haber son causadas por las aproximaciones y redondeos, así como por las perturbaciones parasitarias causadas por la curvatura del material de estudio.

En todo caso, se demuestra de nuevo la linealidad entre la deformación y la resistencia y, se demuestra que el tipo de deformación aplicada no influye en el resultado, en cuanto a relación.

Finalmente, se muestra la misma tipología de gráfico, pero para la segunda configuración de la geometría compleja:

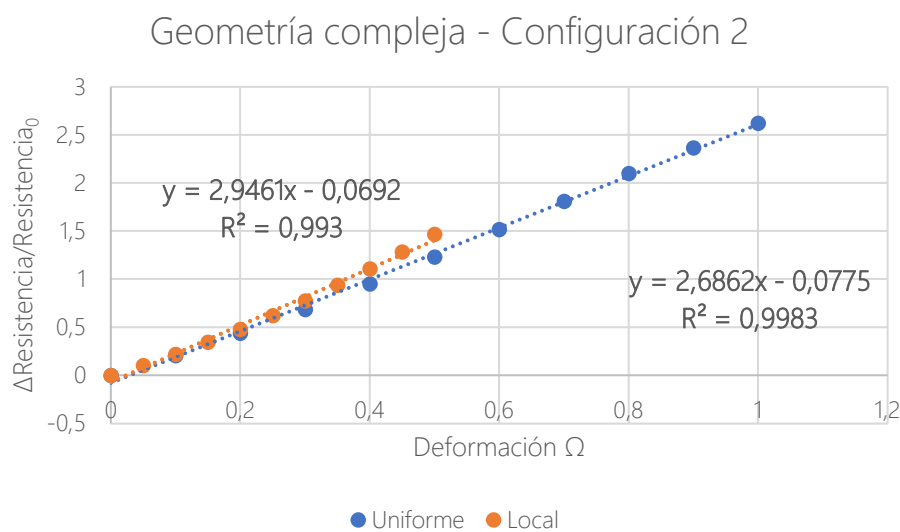


Figura 65. Gráfico comparativo de la configuración 2 de las geometrías complejas

Siguiendo la tónica de los casos anteriores, los pendientes de ambas rectas son muy parecidos, poniendo de manifiesto, de nuevo, que el tipo de deformación aplicada no influye en la linealidad entre la resistencia y la deformación.

De todo el estudio se pueden sacar algunas conclusiones muy claras. En primer lugar, se ha confirmado de una forma práctica que existe una relación lineal entre la deformación aplicada en el elemento y la resistencia eléctrica que ofrece, confirmando de este modo la fórmula que describe esta relación.

Adicionalmente, se ha visto que los pendientes obtenidos en todos los casos guardan también una estrecha relación, ya que todos son parecidos entre ellos. Las pequeñas diferencias son ocasionadas por los redondeos y aproximaciones calculísticas, así como las perturbaciones parasitarias surgidas de curvar el material de trabajo para adoptar la geometría deseada.

De modo que también se demuestra que la geometría puede modificar ligeramente el impacto en el funcionamiento del sensor. Se ha visto que cuantas más secciones alargadas y más largas sean estas secciones el pendiente el más elevado, obteniendo un rango mayor entre valores de deformación, lo que desemboca a una mayor sensibilidad.

Este factor será de importancia a la hora de diseñar la geometría final del sensor.

También se ha visto que el tipo de presión aplicada, bien sea local o uniforme no influye en dicha linealidad, demostrando que el sensor puede ser funcional en todos los escenarios de deformación posibles. Aunque la sensibilidad aumenta en las deformaciones locales, ya que se obtiene en mayor pendiente en todos los casos.

Más allá de las relaciones encontradas, se ha visto que la resistencia de todas las geometrías ha aumentado debido al aumento de longitud y la reducción de tamaño, hecho que no resulta sorprendente, pero es importante mencionarlo.

Para finalizar, cabe recalcar la importancia de realizar un estudio estático para determinar la relación entre presión y deformación que presenta el material de estudio. Como ya se ha dicho en apartados anteriores, dicho estudio no se ha podido realizar debido a la falta de información acerca del hilo experimental.

FASE DE DISEÑO

Investigación de mercado

Una vez realizado el estudio del hilo y su viabilidad como sensor ha llegado el momento de buscar una implementación que pueda aportar valor al producto.

El primer paso, como siempre, se trata de un estudio de mercado, con el objetivo de saber qué oferta hay actualmente y si se puede localizar un nicho de mercado donde el producto pueda tener cabida.

Hay que comparar también los productos ofrecidos entre las empresas estudiadas, así como los stakeholders y las tendencias.

Finalmente, es importante repasar algunas de las patentes existentes relacionadas con este campo.

A continuación, se mostrarán las principales empresas e iniciativas que han desarrollado productos que incorporan algún tipo de sensor textil o tejidos inteligentes en general.

Estudio de mercado

- Smartex

Smartex es una empresa que ofrece tejidos inteligentes para moda, su oferta se basa esencialmente en ropa con propiedades hidrófobas y/o antimancha. Dichas propiedades se obtienen con un tratamiento de base química que otorga impermeabilidad a las fibras.

A parte de estos productos, llama la atención la oferta de una camisa inteligente para controlar enfermedades pulmonares. En colaboración con la universidad neerlandesa de Radboud, han desarrollado una camisa capaz de medir la respiración y detectar posibles fallos con el objetivo de controlar las enfermedades pulmonares.

La tecnología usada se basa en el propio estiramiento del tejido que compone la preda cuando el usuario respira, registrando de este modo la frecuencia cardíaca y el movimiento, para así medir el volumen de aire inhalada y exhalado [8].

- Proyecto E-BRODER

El proyecto E-BRODER es una iniciativa creada por la Generalitat Valenciana con el respaldo de la Unión Europea con el objetivo de desarrollar un conjunto de textiles inteligentes haciendo uso de la tecnología del bordado para aplicaciones domóticas.

La tecnología de bordado es una herramienta eficaz para la integración de sensores, actuadores, interconexiones y transporte de energía en todo tipo de tejidos, así como, para el desarrollo de nuevas estructuras técnicas textiles de alto valor añadido.

A continuación, se muestran los campos de acción de esta iniciativa:

- o Artículos textiles para el hogar con capacidad para adquirir parámetros ambientales avanzados del habitáculo en el que se encuentran.
- o Artículos textiles que integren sensores avanzados para el hogar con capacidad de detectar gestos y presiones distribuidas superficialmente.
- o Artículos textiles que incorporan elementos de inducción bordados con hilos conductores, para dotar de energía sin necesidad de cables a los artículos domóticos textiles o para cargar varios dispositivos electrónicos a la vez y a mayores distancias.
- o Artículos textiles con capacidad para generar luz y calor.
- o Hardware y software del sistema domótico para la gestión y control automático de los textiles inteligentes desarrollados.

La implementación de estos campos necesita de sensores térmicos, ópticos, de presión e inducción para su correcto funcionamiento [9].

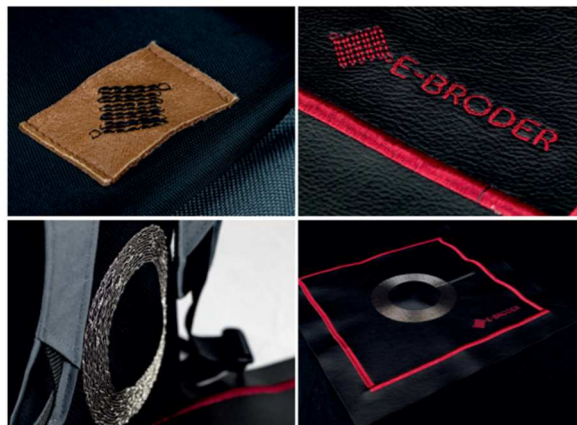


Figura 66. E-BRODER [9]

- **Ecus Sleep S.L.**

Ecus Sleep es una empresa dedicada a la fabricación de colchones y elementos relacionados con el descanso. Cabe destacar el desarrollo de un sistema inteligente para la mejora del descanso basado en una funda de almohada sensorizada.

El sistema consiste en la monitorización y vigilancia del sueño, con un público que contempla todas las edades. Es importante mencionar que el dispositivo dispone de una app de control.

El objetivo científico reside en la investigación de comportamientos durante los diferentes períodos de descanso en diversas franjas de edades.

Por otro lado, en el campo de la sensorización, intervienen parámetros tales como la sudoración, temperatura, humedad, presión, etc. De modo que diversos sensores tienen cabida en este proyecto.

Finalmente, desde el punto de vista de la salud y el bienestar, el objetivo se basa en la monitorización, detección y notificación de factores de riesgo para el usuario [10].

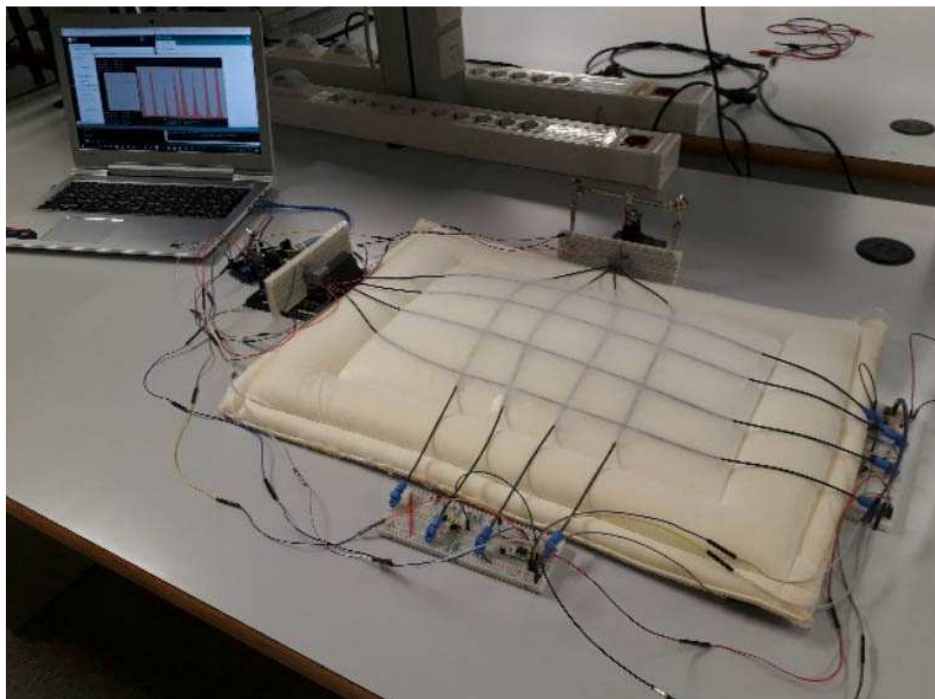


Figura 67. Prototipo del cojín de Ecus Sleep [10]

- Proyecto INSTINTO

El proyecto INSTINTO es una iniciativa del Instituto Tecnológico Textil (AITEX) que tiene por objetivo la monitorización de los movimientos de la gente de edad avanzada, así como la prevención y protección de los mismos en caso de caída.

Mediante la integración de sensores de presión, así como el propio estiramiento de la ropa, se puede obtener información sobre los pasos, el equilibrio, la fuerza muscular y, llevar a cabo una evaluación en tiempo real del estado físico del portador, para así generar los siguientes insights:

- o Obtener nuevos conocimientos sobre los mecanismos de caída en personas mayores, identificando las variables relacionadas, los escenarios más frecuentes y los factores relacionados.
- o Generación de nuevos criterios de diseño para el desarrollo del sistema basados en sensores textiles para la prevención y protección de caídas, en función de las necesidades del usuario y las posibilidades de integración de sensores en textiles.
- o Análisis de los beneficios (técnicos y económicos) de los nuevos sensores textiles integrados en sus productos finales, así como el análisis de la aplicación en distintos ámbitos.

Los datos proporcionados por la integración de los diferentes sensores son accesibles para el profesional clínico a través de un servicio web. En base a las medidas, la aplicación identifica el riesgo de caída del usuario, permitiendo de este modo, el diseño y planificación de diversas estrategias de prevención [9].



Figura 68. Prototipo INSTINTO [9]

- Proyecto SmartLife

El proyecto SmartLife es una iniciativa de carácter europeo que tiene como fin la promoción de comportamientos y estilos de vida saludables entre adolescentes a través de un videojuego combinado con actividad física.

El objetivo es la creación de un juego para dispositivos móviles que requiera del movimiento de la parte inferior del cuerpo y, esté dotado de una personalización dada por el feedback fisiológico medido por los textiles inteligentes.

Dicha personalización a través de textiles inteligentes presenta un desafío acorde a la condición física actual de jugador y se puede ajustar según los niveles de actividad durante el juego.

Este enfoque puede mejorar los ejercicios actuales para lograr un mayor nivel de intensidad en la actividad física, necesaria para crear un impacto en la salud.

El textil inteligente está dotado de unos sensores que monitorizan variables como el movimiento, el ritmo cardíaco y respiratorio. Para poder obtener estas lecturas, es indispensable que los sensores instalados actúen ante la presión y el estiramiento y encogimiento de la prenda.

Promover estos comportamientos entre los jóvenes puede tener grandes beneficios para la salud y la sociedad [11].



Figura 69. Logo de SmartLife [11]

- Siren

Siren es una empresa de tecnología biomédica estadounidense que presentó Neurofabric, un sistema de control de la temperatura de los pies destinados a personas que padecen de diabetes.

Para la obtención de la temperatura de los pies se ha desarrollado un calcetín donde se integraron sensores, situados estratégicamente, para monitorizar de forma continua la temperatura del pie del sujeto, con el objetivo de poder detectar signos de inflamación, precursor de posibles lesiones. Cabe destacar que las lesiones en los pies son comunes en personas diabéticas y, puede provocar graves complicaciones como úlceras o hasta amputaciones.

Ya que se trata de una monitorización de temperatura, los sensores integrados son sensores textiles térmicos, y no deben interferir en la comodidad y ergonomía del calcetín.

Este producto cuenta con una aplicación para poder ver en tiempo real las temperaturas detectadas por los sensores y, conectada a los servidores de los servicios médicos del paciente [12].

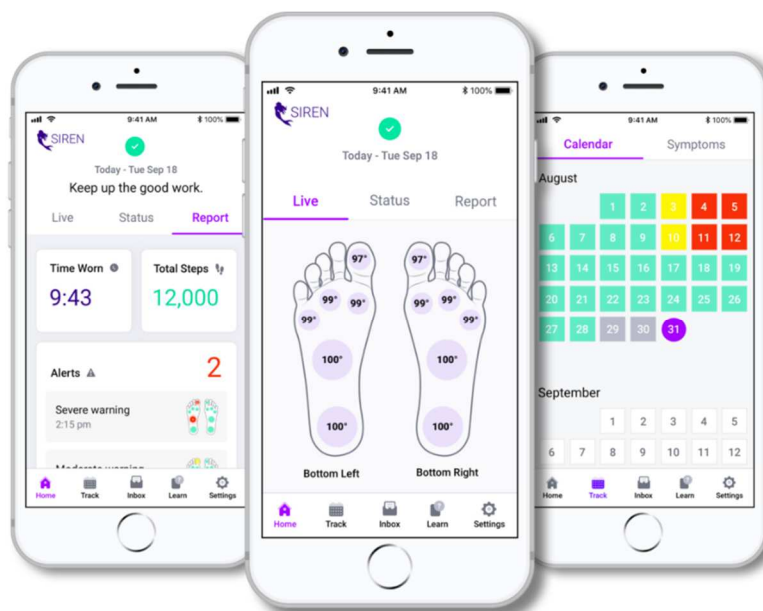


Figura 70. Diseño de la app propuesta por Siren [12]

- Sensoria

Sensoria es una empresa norteamericana que ofrece una gran cantidad de textiles inteligentes focalizados en el ámbito deportivo. Generalmente, su función se basa en la monitorización del movimiento durante su uso, con el objetivo de monitorizar distintas constantes fisiológicas, como el ritmo cardíaco y respiratorio, la cantidad de pasos y distancia recorrida, así como la técnica de apoyo del pie durante la actividad física en cuestión.

Sus productos estrella son la camiseta con sistema de monitorización del ritmo cardíaco y respiratorio a base de sensores textiles de presión, así como el sujetador y otros modelos de camiseta que se rigen por el mismo principio.

Los calcetines inteligentes, incorporan diversos sensores que, a parte monitorizar la velocidad y recorrido del sujeto, también son capaces de analizar si el sujeto anda o corre adecuadamente. Mediante sensores de presión, se puede saber si existe algún mal hábito en el momento de apoyar el pie durante la acción de caminar o correr.

El sistema cuenta también con una app que registra todos los datos recopilados por los sensores, de modo que el usuario puede consultarlos en cualquier momento. Así como una planificación de actividades que se adecúa al nivel físico del usuario, en función de los objetivos fijados previamente [13].



Figura 71. Calcetines y app propuestos por Sensoria [13]

Mapa de competidores

Una vez realizada la investigación de mercado se pueden sacar diversas conclusiones o insights. La gran mayoría de empresa e iniciativas estudiadas ofrecen productos de monitorización fisiológica, bien sea de constantes vitales, temperatura o presiones.

Algunas están encaradas al uso diario como la camisa que ofrece Smartex o los calcetines de Siren, mientras que otras están focalizadas en deportes, como todo el equipamiento ofrecido por Sensoria o la iniciativa SmartLife, con su juego dinámico.

Por otro lado, cabe diferenciar los productos que tienen una finalidad médica como la almohada de Ecus Sleep, o los textiles que ofrece la iniciativa INSTINTO, así como los calcetines para diabéticos de Siren.

Finalmente, es interesante destacar la combinación entre los textiles inteligentes y la domótica que ofrece el proyecto E-BRODER. Combinando dos ámbitos que, a priori, tienen poca relación.

Cabe destacar también que, la mayoría de los productos estudiados cuentan con una conexión con algún tipo de servidor que permite el almacenamiento de datos y su estudio, bien sea vía un smartphone o directamente con las bases de datos clínicas.

En el siguiente diagrama se sitúan todas las empresas en función de las características que ofrecen. En el eje horizontal se cuantifica el nivel rigor o importancia médica que ofrece el producto, yendo desde productos con fines puramente médicos, hasta productos más lúdicos con el objetivo de promover el bienestar y la salud.

En el eje vertical se cuantifica el nivel de actividad para el que está pensado el producto, partiendo de productos diseñados exclusivamente para ser usados durante una actividad física elevada, hasta productos diseñados para ser usados estáticamente.

Mediante la cuantificación de las variables que comparten los productos e iniciativas estudiadas, se pueden ubicar en un marco comparativo adecuado. Si bien es cierto que algunos de estos productos tienen otras propiedades, se han considerado las comunes entre todos ellos para elaborar el siguiente diagrama:



Figura 72. Mapa de competidores

Así pues, la situación queda del siguiente modo:

- Smartex se sitúa en un punto intermedio entre los fines médicos y los lúdicos, y a un nivel ligeramente activo, ya que la camisa que proponen está pensada para controlar constantes vitales durante la vida cotidiana.
- E-BRODER se sitúa en un estrato lúdico y estático ya que sus productos están destinados a la domótica; actividad con finalidades de mejorar el bienestar mediante la automatización de elementos del hogar.
- Ecus Sleep S.L. se sitúa en un nivel médico, ya que su función es recopilar información sobre el sueño; hecho que hace que el desarrollo de esta actividad se produzca estáticamente.
- El proyecto INSTINTO también se sitúa en un estrato médico, para monitorizar las acciones de las personas mayores. Al estar enfocado a personas mayores el nivel de actividad tampoco es muy elevado.
- El proyecto SmartLife está en una situación lúdica y de actividad física considerable, ya que se trata de un juego dinámico para mantener al público joven activo.

- Siren está en un punto considerablemente médico, ya que está destinado a personas diabéticas y con un nivel de actividad moderado, al tratarse de un artículo de uso cotidiano.
- Sensoria ofrece productos destinados a ser usados durante una actividad física elevada con fines lúdicos.

Stakeholders

El concepto de stakeholder se refiere a las organizaciones o personas que se ven afectadas por las actividades de cierta empresa, es decir, grupos de interés que envuelven a la empresa. Dichos grupos presentan un claro interés en que la empresa o el producto que se ofrece tenga éxito, ya que su éxito aportará un cierto valor para sus actividades.

En este caso, el primer y el más obvio de los stakeholders es el propio cliente, la persona que va a recibir el producto diseñado. Como se ha visto, el usuario puede proceder de orígenes muy diversos, desde personas con necesidades ortopédicas o médicas, hasta deportistas o usuarios de la domótica.

Otro stakeholder son las tiendas o superficies donde se comercializará el producto diseñado, si es que el producto tiene un enfoque comercial de venta física. Sensoria es el perfecto ejemplo de este tipo de enfoque.

El organismo sanitario también tiene cabida en este apartado; si el producto se diseña con fines puramente médicos o clínicos, lo más probable es que se distribuya a través de la plataforma clínico-médica, bien sea en farmacias o directamente en hospitales.

Un poco más lejos, podemos situar a las grandes compañías de telefonía, en el caso que el producto final incorpore una app de control para smartphone; ya que también se verán afectados, aunque en una proporción bastante menor.

Finalmente, también se verán afectadas las empresas encargadas de la fabricación de los componentes del producto final. Los microprocesadores o microchips y, en general toda la electrónica que se esconde detrás del producto final, así como los hilos conductores, son claros ejemplos de este tipo de stakeholders.

Tendencias

El mundo de los sensores y, en concreto, de los sensores textiles ha evolucionado mucho en los últimos años, gracias a la mejora de los materiales y de las técnicas de producción se han podido desarrollar sensores más precisos y con una mejor integración en artículos textiles.

En los inicios se hacía uso de hilos convencionales recubierto de metales conductores con el objetivo de dotarlos de esta propiedad. Junto con sensores físicos es posible montar todo el sistema, obteniendo de este modo, artículos textiles con sensores integrados.

Más adelante, la tecnología y la investigación permitieron la creación de hilos hechos a partir de polímeros con propiedades conductoras. De nuevo, junto con la adición de sensores físicos se puede obtener un sistema completamente funcional.

La tendencia apunta a hilos de polímero conductor que puedan actuar como sensores por ellos mismos. Mediante la variación en alguna de las magnitudes eléctricas (voltaje, intensidad o resistencia), o sus derivados, se puede obtener información de las perturbaciones ocurridas en el sustrato textil. Creando, de este modo, sensores textiles completamente integrados en el propio producto, ya que el mismo hilo con el que se construye es el propio sensor.

Finalmente, otras tecnologías como la impresión 3D se están sumando al desarrollo de sensores textiles. Al tratarse de un hilo conductor desarrollado a partir de polímeros, éste puede ser impreso, creando así las formas y configuraciones más óptimas según la función a desempeñar.

Claro está, que según el campo donde se quiera aplicar el producto las tendencias, en cuanto a materiales y a procesos de fabricación, variarán. A pesar de dichas diferencias, la tendencia general apunta a una optimización de los tejidos inteligentes, haciéndolos más indetectables, en el caso de indumentaria, o más funcionales en otros campos como la domótica o la ortopedia.

También es lógico que se mejore el nivel de comunicación entre el sujeto y el dispositivo de monitorización, bien sea para fines lúdicos o para fines médicos y/o clínicos.

Estudio de patentes

Una vez realizado el estudio de mercado y el análisis de algunos de los productos que hacen uso de la tecnología de los sensores textiles, es importante revisar las patentes existentes relacionadas con este tipo de sensores.

Las patentes estudiadas se centrarán en los sensores textiles de presión, ya que es el sensor desarrollado durante este trabajo:

- EP1605240A1

Para la detección diferenciada de una distribución de presión en una superficie, se propone un sensor de presión textil. Dicho sensor se forma a partir de un primer electrodo plano y, un seguido de más electrodos, opuestos al primero. Todos ellos sujetos individualmente mediante un material elástico.

En este caso, los electrodos adicionales están dispuestos disyuntivamente, con respecto al primer electrodo plano.

Se proporciona una línea de conexión para cada electrodo con el objetivo de evaluar los cambios en la capacitancia del condensador formado por dichos electrodos.

Este tipo de sensores están destinados a ser cosidos directamente en prendas textiles [14].

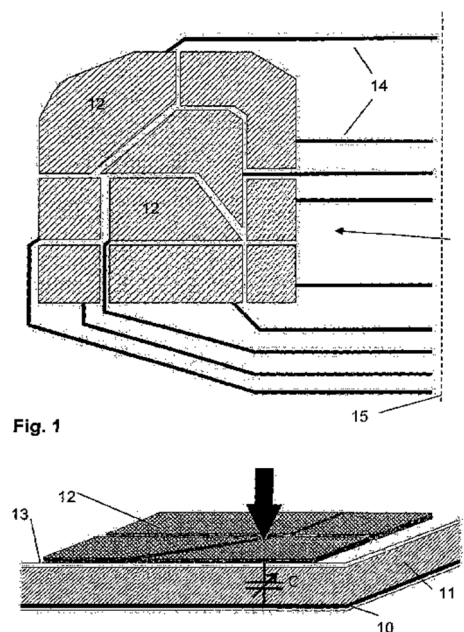


Figura 73. Patente de un sensor textil [14]

- US9733136B2

Se propone un sensor de presión textil para la medición capacitiva de una distribución de presión de objetos de cualquier forma, en particular, partes del cuerpo humano.

Para obtener las lecturas, la presión se ejerce sobre una superficie formada por dos estructuras, ambas cuentan con áreas conductoras. Dichas estructuras están separadas entre sí por un medio o elemento intermedio dieléctrico.

En las regiones conductoras de la primera estructura se forman condensadores o capacitores, opuestos a las regiones o áreas conductoras de la segunda estructura de dicha superficie.

Este sensor textil se distingue de otros debido a que las estructuras mencionadas están diseñadas como estructuras de malla, es decir, tejido de punto [15].

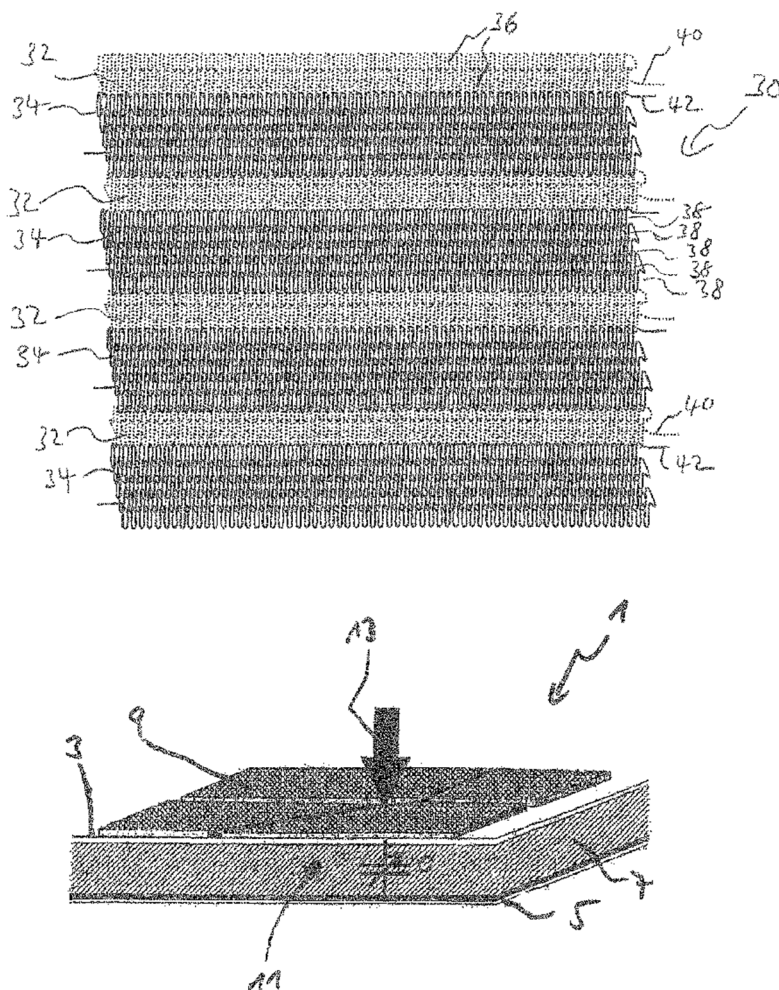


Figura 74. Patente de un sensor textil [15]

- US9271665B2

Se propone una matriz de sensores de presión basada en una tela que incluye diversas capas. La primera de ellas se compone de un número determinado de tiras conductoras que recubren dicha capa. La segunda capa sigue la misma morfología, pero se extiende transversalmente al eje principal de las tiras de la primera capa, de modo que las tiras de ambas capas se encuentran cruzadas.

Finalmente, una lámina textil unitaria se extiende entre dichas capas para superponer las intersecciones de las tiras anteriores, obteniendo de este modo, una resistividad variable en respuesta a la presión aplicada para definir los sensores creados a partir de las intersecciones de las tiras de cada capa [16].

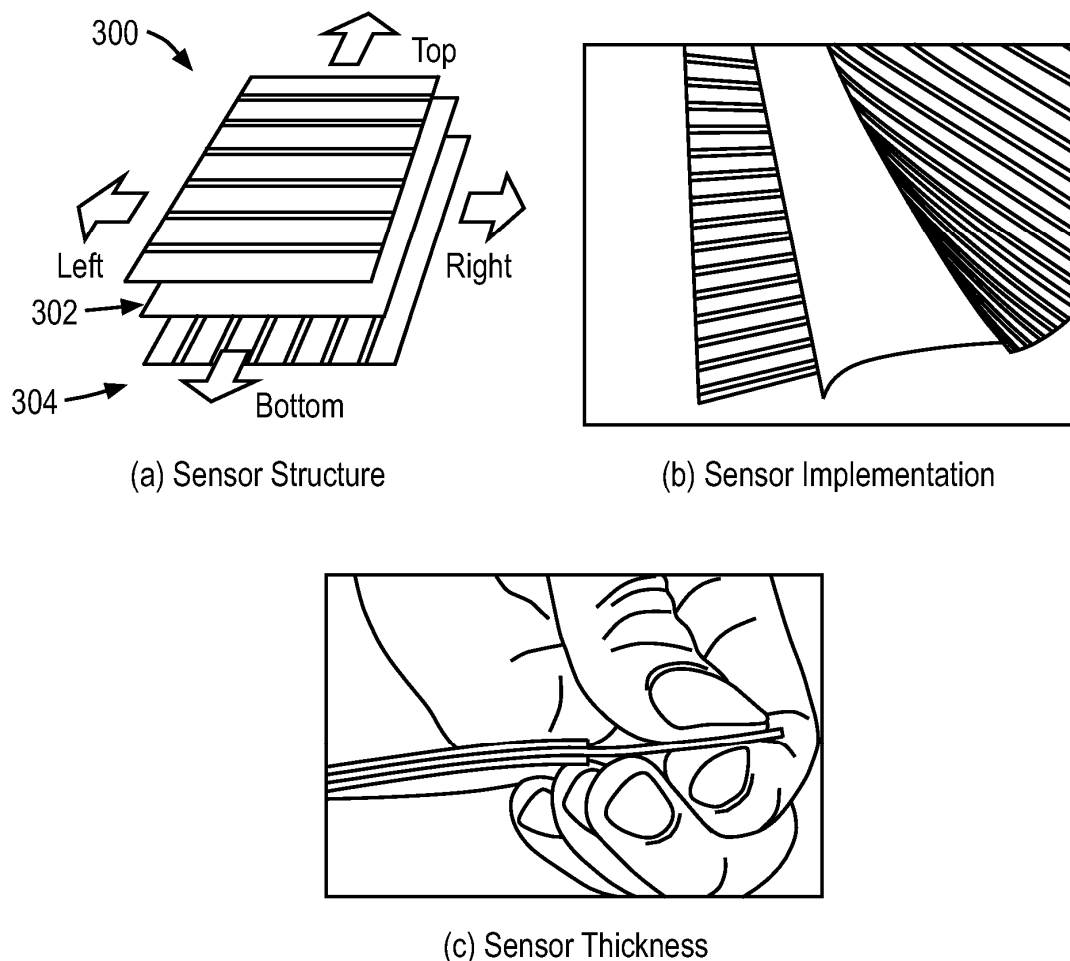


Figura 75. Patente de un sensor textil [16]

- US7544627B2

Las telas de detección de presión existentes pueden comportarse de dos maneras distintas.

Por una parte, pueden actuar como áreas aislantes y conductoras en la tela, hecho que aumenta la complejidad del sistema de la tela. Por otra parte, pueden inestabilizar la relación entre la resistencia y el esfuerzo aplicado durante una deformación dinámica, hecho que limita los campos de aplicación debido a la diferencia de las propiedades intrínsecas entre estos dos comportamientos.

Estas telas generalmente emplean dos o más capas para realizar las funciones de detección. Dichas disposiciones aumentan algunos parámetros como el grosor, el peso y el coste de los sensores, generando también algunas desventajas como baja precisión, inestabilidad, etc.

Esta patente describe un tejido sensor de presión que presenta una estructura muy simple, basándose en múltiples hilos conductores de electricidad que forman bucles entrelazados entre ellos. Este sistema permite no solo detectar la presión, sino que también la magnitud en la que se está aplicando [17].

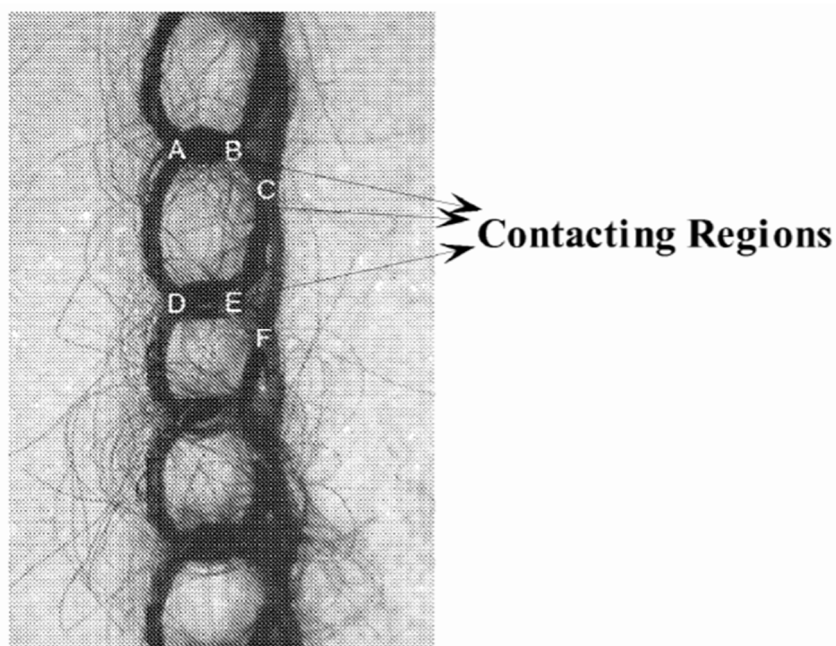


Figura 76. Patente de un sensor textil [17]

- US8393229B2

El dispositivo sensor de presión incluye dos capas de conversión separadas por un elemento eléctricamente conductor, con el que van conectados un par de hilos eléctricamente conductores también.

Las capas de conversión incluyen al menos un miembro de deformación, diseñado para deformar el elemento conductor situado entre dichas capas. Mediante la deformación aplicada, se modifica la resistividad de dicho elemento.

Cabe mencionar que la presión aplicada para deformar el material conductor se puede aplicar desde la primera capa de conversión o bien, desde la segunda [18].

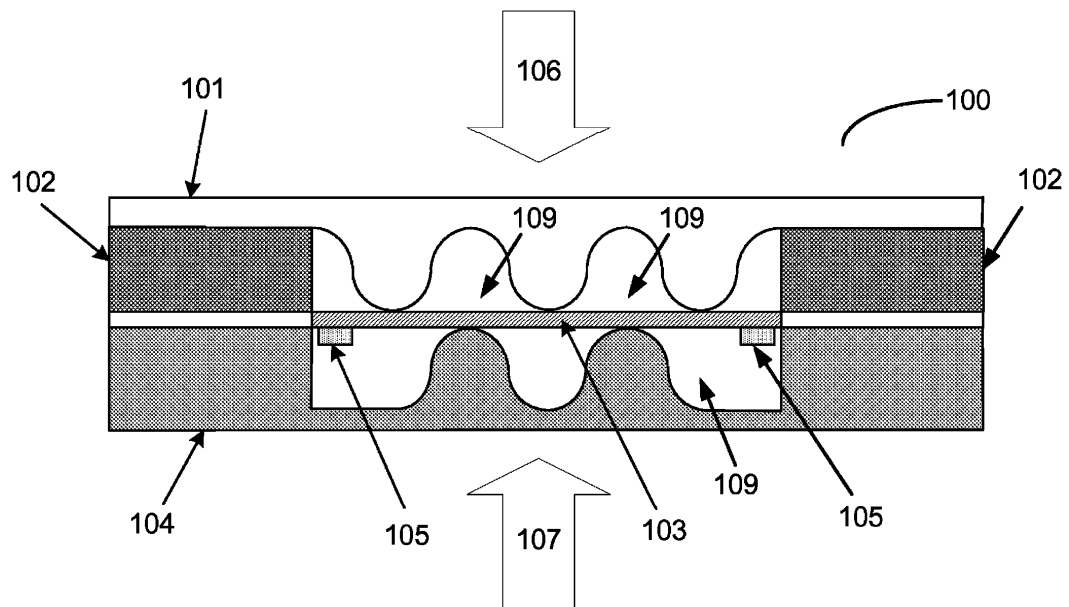


Figura 77. Patente de un sensor textil [18]

Conclusiones

Una vez realizada toda la investigación de mercado y revisado algunas de las patentes relacionadas con los sensores textiles, se pueden sacar algunos conceptos que serán de utilidad para el futuro desarrollo del producto.

Se ha visto que existen una gran variedad y cantidad de productos que incorporan sensores textiles, así como la aplicación o el campo de uso de los mismos también abarca un gran abanico de posibilidades.

La tecnología que envuelve estos productos es también muy diversa, ya que existen un gran número de patentes que, mediante distintos métodos, proponen sensores textiles de presión.

También se ha visto que los stakeholders, o aquellas entidades que están relacionadas con el desarrollo e implementación del producto puede variar mucho según la finalidad del mismo.

Si bien es cierto que las tendencias apuntan a una optimización, a nivel funcional y a nivel de comodidad, de los sensores en cuanto a su diseño, son un poco más dispersas en cuanto a su fabricación, aunque está claro que las nuevas tecnologías, como la impresión 3D, van a jugar un papel relevante en los próximos desarrollos.

Así pues y para finalizar, cabe remarcar la gran versatilidad, tanto en desarrollo como en implementación, de los sensores textiles de presión; ya que pueden ser fabricados de numerosas maneras, así como ser implementados en una gran cantidad de campos.

En cuanto al futuro diseño del producto, puede suponer una hoja de doble filo, ya que, al haber un abanico de posibilidad tan grande, da libre albedrío al diseño, pudiendo de este modo, tener cabida en casi todos los campos del mismo; del mismo modo, puede suponer una simple repetición de productos ya diseñado, ya que es fácil caer en ideas ya explotadas con anterioridad.

Selección del producto

Después de la realización de la investigación de mercado, se ha visto que la mayoría de productos se pueden englobar dentro de las siguientes 4 categorías: deporte, salud, seguridad y bienestar.

La categoría de deporte comprende todos los productos que incluyen sensores textiles de presión cuya función se basa en monitorizar constantes vitales, tales como ritmo cardíaco o capacidad pulmonar, durante sesiones deportivas. Pueden o no, estar vinculados a un dispositivo móvil que almacena y analiza los datos recopilados. Al tratarse de deporte, se califica como una acción de actividad elevada y de carácter lúdico.

Como se ha visto anteriormente, un gran número de empresas y compañías cuentan con este tipo de productos.

La categoría de salud comprende todos los dispositivos que incluyen sensores textiles de presión cuya función se basa en monitorizar constantes vitales de nuevo, las más comunes vuelven a ser las frecuencias cardíacas y respiratorias, pero encontramos otras variantes que monitorizan el movimiento durante periodos de sueño, así como fuerza muscular. Al tratarse de aplicaciones para fines médicos, deben existir comunicaciones con los servidores o profesionales médicos al cargo del sujeto que hace uso del dispositivo. Al tratarse de salud, se califica como una acción de actividad moderada y de carácter médico.

Anteriormente, se han visto diversos dispositivos que desempeñan este tipo de función.

La categoría de seguridad comprende todos los productos que incluyen sensores textiles de presión cuya función tiene como fin promover la seguridad o evitar situaciones de riesgo mediante la detección de ciertas perturbaciones. En este caso, es de vital importancia que el sistema de lectura esté conectado a un sistema de alerta, ya que hay que dar aviso si se da una situación de riesgo. La mayoría de estas funciones se desarrollan en un entorno estático.

En apartados anteriores se han visto algunos ejemplos de este campo.

Finalmente, la sección de bienestar, engloba todos los productos que incluyen sensores textiles de presión con el objetivo de hacer, de algún modo, la vida más sencilla para sus usuarios; el claro ejemplo es la domótica. También se pueden incluir en esta sección los

dispositivos que tienen algún fin lúdico más allá del deporte. Ciertos juegos mencionados anteriormente hacen uso de esta tecnología.

Según el tipo de producto deberá estar dotado de una conexión, bien sea con un dispositivo móvil, en el caso de los videojuegos, o bien una centralita de control, en el caso de la domótica.

Presentación de ideas

Una vez caracterizados los 4 principales sectores que incluyen sensores textiles de presión, es necesario estudiar si tiene cabida un nuevo producto, así como las ventajas e inconvenientes de cada sector, desde el punto de vista del diseño.

Así pues, en esta sección se mostrarán posibles diseños o rediseños de cada categoría.

- Deporte

El deporte es de los campos más explotados, ya que la monitorización de constantes vitales y recorrido es una actividad que viene haciéndose desde ya hace mucho tiempo. A pesar de esto, también es un campo que está adquiriendo un gran número de usuarios desde hace poco.

Hoy en día, un elevado número de personas realizan deporte, bien sea en gimnasios o desde sus propias casas y, otras modalidades de deporte más allá del "running" están ganando seguidores. La mayor diferencia entre el deporte convencional, entendiendo convencional como el tipo de deporte que se ha practicado toda la vida, y estas nuevas tendencias, es que se basan en ejercicios isométricos, es decir, son un tipo de ejercicios que implican tensión muscular sin necesidad de moverse o bien, con una movilidad muy reducida.

Claros ejemplos de esta nueva tendencia deportiva son el yoga, rutinas isométricas, etc.

De modo que se ha creado un nicho de mercado, donde un producto que incluya un sensor textil de presión puede tener cabida.

Con el objetivo de poder diseñar un producto lo más versátil posible es importante encontrar el punto en común entre todos estos deportes estáticos, o en su defecto, la mayoría de ellos.

Dicho elemento en común es la esterilla, una fina colchoneta hecha de una mezcla de espuma de caucho de nitrilo de butadieno y espuma de PVC, que tiene como objetivo facilitar los ejercicios isométricos, ya que proporcionan soporte y confort durante su práctica.

Otro punto en común entre estas prácticas deportivas es el equilibrio y el balance. Ya que mediante estos dos factores se trabaja la fuerza muscular de una forma estática.

Así pues, si se unen estos dos puntos en común en un producto se obtiene una esterilla con la capacidad de evaluar el equilibrio del sujeto. La evaluación del equilibrio se puede llevar a cabo con la implementación de sensores textiles de presión.

Se puede establecer un parámetro muy básico para evaluar el equilibrio. Si dos o más puntos alineados reciben el mismo valor de presión, se supone que están en equilibrio.

De este modo, se puede diseñar una esterilla con distintos puntos colocados estratégicamente para evaluar el equilibrio durante la realización de la actividad física, pudiendo dar datos sobre el mismo con el objetivo de mejorar la técnica del ejercicio en tiempo real.

Para poder dar este tipo de información en tiempo real, será necesario un dispositivo para visualizar las lecturas, por tanto, es interesante desarrollar una app para dispositivos móviles donde se muestren los valores de presión a tiempo real y con una visualización que sea fácil de entender para todos los públicos.

Así pues, el producto se trata de una esterilla dotada con sensores textiles de presión ubicados estratégicamente para evaluar el equilibrio del sujeto durante la actividad física, con el objetivo de poder dar información sobre la calidad de la técnica y poder corregirla en tiempo real.

En cuanto a la implementación de los sensores, se trata de una estructura multicapa, donde los sensores se situarían en una de las capas intermedias. Obviamente, el producto necesita de una electrónica que dote de energía y asegure el buen funcionamiento del conjunto. Dichos elementos se situarían en un lugar, lo más protegido posible y, buscando no entorpecer la actividad del sujeto.

Siguiendo la misma línea de diseño relacionada con la práctica de deporte estática, el equilibrio y el balance, se propone un segundo producto.

Se trata de las bandas elásticas de caucho con sensores de presión incorporados en puntos estratégicos, con el objetivo de poder realizar ejercicios de fuerza muscular de una forma controlada y equilibrada.

El diseño se rige por los mismos principios, se considera que los puntos alineados que reciben la misma o parecida cantidad de presión están en equilibrio. Así como la estructura multicapa para la integración del sensor, y la electrónica lo más irreconocible posible.

Finalmente, y como en el caso anterior, se debería disponer de una app para dispositivos móviles con el objetivo de poder corregir los desequilibrios.

- **Salud**

El campo de la salud, al igual que el deporte, también es un sector bastante explotado. Su actividad se centra básicamente en la monitorización de constantes vitales, aunque existen otros aspectos de salud explotables y que no tienen que ver directamente con una monitorización de dichas constantes.

De este modo, hay que encontrar qué elementos que tengan que ver o bien se pueden medir mediante la presión pueden tener un impacto en la salud del sujeto. En ocasiones, la presión que el cuerpo ejerce sobre ciertas partes del mismo puede desembocar en un problema circulatorio o en úlceras. Generalmente, se dan este tipo de situaciones en escenarios estáticos.

De este planteamiento se puede deducir que el sujeto debe usar el producto estáticamente o bien se debe tratar de un sujeto con movilidad reducida. Cabe destacar que algunos de los sujetos con movilidad reducida no tienen sensibilidad en algunas partes del cuerpo, por tanto, los propios sistemas de alerta del individuo no son capaces de detectar si hay un problema circulatorio o úlcera. De modo que este sistema de ayuda puede evitar futuras lesiones para este público.

Tirando de este hilo es fácil llegar a la conclusión que es posible implementar un dispositivo de detección de presión en sillas de ruedas, con el objetivo de monitorizar en todo momento las presiones que el propio cuerpo ejerce sobre sí mismo.

Así pues, dicha silla de ruedas debe contar con sensores estratégicamente ubicados en el respaldo y el culo de la silla, de modo que se podría saber si el sujeto está sentado correctamente y podrá dar un aviso en caso que la postura adoptada pueda conllevar riesgos a corto o largo plazo, para así, poder ser corregida.

A parte del sistema de detección, también será necesario la instalación de un sistema de alarma, bien sea sonoro o bien, conectado con algún dispositivo con el objetivo de poder identificar el problema de postura y que, posteriormente, sea enmendado.

Para alimentar a todo el sistema, se puede conectar directamente a la batería de la silla de ruedas, en caso de que sea motorizada o bien, se puede hacer uso de una dinamo que cargue la batería del sistema del sensor con el movimiento, cuando se trate de una silla no motorizada.

En síntesis, el producto consiste en una silla de ruedas que cuenta con sensores textiles de presión ubicados en el respaldo y el culo que pueden dar información sobre la postura del sujeto y, avisar mediante un canal rápido, fácil y entendible si surge algún problema. Dicho producto está destinado a sujetos con movilidad reducida, cuyos sistemas no son capaces de detectar este tipo de problemas circulatorios.

Otra posibilidad siguiendo la misma línea de diseño y las mismas premisas podría ser una cama de hospital destinada a aquellos pacientes que no tienen posibilidad de moverse, sea por el motivo que sea.

Si se dota la cama de sensores de presión, se puede identificar si existen zonas del cuerpo que están sufriendo una presión excesiva, que podría conllevar riesgos circulatorios. Si dicha cama se equipa con un sistema de muelles motorizados, se puede levantar ligeramente la zona del colchón donde se encuentra la parte del cuerpo sobrecargada y, de este modo, recolocar al paciente y liberar las tensiones que pueda producir la presión de un modo automático o semiautomático.

En referencia a la alimentación del sistema, se debería conectar a la corriente. Generalmente, las habitaciones de los hospitales o residencias cuentan con tomas de corriente suficientes para poder conectar el sistema del sensor.

En ocasiones, las propias camas tienen un sistema de alimentación, sobre todo las destinadas a UCI, en este caso podría conectarse directamente a dicha alimentación, siempre y cuando no interfiera en las otras funciones.

De este modo, se aligeraría la carga de trabajo del personal sanitario encargado de mover a este tipo de pacientes para evitar estos problemas circulatorios.

- Seguridad

El sector de la seguridad es uno de los campos con menos explotación de los estudiados. Se trata básicamente de evitar el riesgo de accidentes en cualquier tipo de situación. Como en los casos anteriores, hay que buscar qué elementos que tengan que ver o se puedan medir mediante la presión, pueden tener un impacto sobre este campo.

Por un lado, la presión nos puede dar información útil sobre las actividades que el sujeto lleva a cabo y del estado de su cuerpo.

Por otro lado, hay que encontrar situaciones donde intervengan elementos textiles que puedan desembocar en escenarios de riesgo.

Un claro ejemplo, que será el escenario sobre el que actuará el producto propuesto para esta sección, son los accidentes de tráfico causados por somnolencia al volante. Si bien es cierto que si se siguen las recomendaciones es poco probable que se den este tipo de accidentes, no está de más proponer un sistema que cerciore la seguridad vial.

Cabe recordar que cuando el cuerpo entra en fase de descanso, este se relaja, aumentando de este modo, la presión sobre la superficie de soporte.

El producto se basa en la implementación de sensores textiles de presión, situados estratégicamente en los asientos de los automóviles, con el objetivo de detectar este aumento de presión cuando el cuerpo empieza a relajarse demasiado.

Para que el sistema sea útil, es necesario implementar un sistema de alerta para prevenir dichas situaciones. Un buen ejemplo sería la conexión de los sensores con la centralita del

automóvil; en cuanto las lecturas sean peligrosas, se puede subir automática y progresivamente el volumen de los altavoces del automóvil, despertando al conductor sin causar un sobresalto, como el que podría provocar una alarma repentina.

En cuanto a la alimentación del sistema, éste debería estar conectado con las baterías del automóvil.

El sistema se podría implantar en la mayoría de automóviles, pero se dará un mejor uso a aquellos que estén destinados a realizar largas travesías, donde las horas de conducción sean elevadas. Es el caso de transportistas de largas distancias.

A continuación, se presenta otro producto relacionado con la seguridad, en concreto con la seguridad vial de nuevo, con la diferencia que esta vez está destinado a los usuarios de bicicletas.

Es un hecho que los usuarios de este tipo de vehículos cuentan con un nivel de protección bastante bajo, ya que, al tratarse de un vehículo sin chasis ni sistemas de sujeción de seguridad como cinturones, se encuentran desnudos, en cuanto a seguridad, frente a accidentes y caídas.

Es por este motivo que es interesante la realización de un diseño de un producto que favorezca la visibilidad de este sector de usuarios, con el fin de evitar accidentes.

El producto en si ya existe, se trata de una bicicleta, pero con la diferencia que se le implantan sensores de presión textil en el sillín y los asidores del manillar con el objetivo de detectar al usuario. Mediante la detección del usuario, se encenderá la luz trasera de la bicicleta de forma automática; aportando visibilidad y reduciendo riesgos sin la preocupación de encenderlo y apagarlo, ya que se apagará automáticamente al no recibir ningún estímulo de presión.

Dicho sistema se puede alimentar mediante una dinamo con la propia rotación de las ruedas de la bicicleta, en el caso de bicicletas convencionales. O bien, conectada a las baterías en caso de bicicletas eléctricas.

- Bienestar

El sector del bienestar también es de los menos explotado y, es el más versátil de todos. Los productos que tiene cabida dentro de este campo componen un abanico muy variado que se extiende desde gadgets para el hogar hasta productos de indumentaria.

En este caso, el sensor textil puede simplemente formar parte o ser un componente de un sistema más elaborado, como sería en el caso de la automatización de sistemas para el hogar.

El producto se basa en una pequeña parte de una vivienda domótica, se trata de un sensor textil de presión instalado en el apoyabrazos de un sofá o un sillón que, mediante la presión ejercida sobre el sensor se controle la intensidad de luz de la estancia, con el objetivo de poder crear diferentes ambientes lumínicos sin necesidad de moverse del sofá o del sillón.

Se establece un parámetro de funcionamiento muy simple: a más presión, más intensidad lumínica y, jugando con pulsaciones prolongadas se puede reiniciar el sistema.

Claro está que el sensor necesitará estar conectado al sistema domótico para que la comunicación entre todos los elementos que intervienen sea factible.

Otro producto relacionado con la domótica es una alfombra situada en la entrada de la vivienda equipada con un sensor textil de presión. La función de dicha alfombra sería apagar o encender las luces al salir o entrar en la casa, subir o bajar las persianas y, todas aquellas acciones que se quieran configurar durante la acción de salir o entrar de la vivienda.

Para determinar la dirección de la acción, es decir, si se sale o se entra, habrá que tener en cuenta la dirección en la que los sensores se van activando según se les va aplicando presión.

En ambos casos, los sistemas están interconectados con una centralita que recibe los datos de las lecturas y proporciona las respuestas y la energía necesaria.

Análisis

Una vez presentados todos los productos propuestos, es momento de analizarlos con el objetivo de poder cuantificar sus propiedades.

Para hacer dicho análisis, se evaluarán diversos factores que intervienen tanto en el proceso de producción, la implementación y la aceptación en el mercado.

En concreto se evaluarán los siguientes factores: la facilidad de producción, la facilidad de integración del sensor, la facilidad de implementación, la existencia de productos similares o que hagan funciones similares, es decir, la originalidad, el impacto económico, el impacto ambiental y sostenibilidad y, por último, el público objetivo, así como su grado de aceptación.

- Esterilla sensorizada

La esterilla es uno de los productos propuestos más simples, al fin y al cabo, no se ha inventado nada nuevo, sino que se le han añadido funciones a un producto ya existente; de modo que se trata de un rediseño o una mejora del producto inicial.

La producción de las esterillas convencionales es muy sencilla, ya que simplemente se hace uso de una mezcla de polímeros y probablemente, un molde, con el objetivo de realizar la forma deseada.

En el caso de la esterilla propuesta, el proceso se complica ya que se deben realizar un producto multicapa para la correcta instalación de los sensores y los sistemas auxiliares. Al tratarse de un producto multicapa hay que repetir la operación de la conformación de la esterilla convencional repetidas veces y, añadir un proceso de ensamblaje.

A pesar de este aumento en la complejidad de producción, sigue tratándose de un producto simple, de modo que no es errado decir que la producción no supone un problema.

Ligado a la producción, se pueden evaluar otros puntos: la facilidad de integración y, los impactos económicos y ambientales.

En cuanto a la integración, queda claro que se ha tenido que modificar la producción en función de este punto, ya que el único motivo por el cual se realiza un producto multicapa es la integración del sensor. Como en el caso de la producción, no se considera una

operación especialmente compleja, de modo que la integración del sensor es totalmente factible.

Contrariamente, la adición de material y operaciones, suponen un impacto negativo tanto a nivel económico como a nivel ambiental, ya que se consume más material por unidad de producto, así como el tiempo de producción aumenta, generando gastos económicos que deberán ser compensados con una subida del precio del producto final.

En cuanto a la implementación, entendiendo este concepto como qué tan fácil o difícil resulta usar el producto, se puede decir que requiere una configuración previa, ya que se debe sincronizar la esterilla con el dispositivo móvil del usuario, a parte que hay que mantener la esterilla con un nivel de batería adecuado para poder ser usada. Si bien es cierto que son factores que dificultan su implementación, los usuarios de hoy en día están muy acostumbrados a realizar este tipo de acciones, tanto la sincronización como la carga de batería; de modo que es correcto decir que la implementación es sencilla.

A pesar de que las esterillas son un producto con mucho recorrido, existen pocos productos que ofrezcan una evaluación del equilibrio, de modo que la unión de estos dos conceptos lo hace un producto original.

En cuanto al público objetivo, se trate de un sector de población creciente, ya que ciertas prácticas deportivas como el yoga y las rutinas isométricas presentan una tendencia al alza.

Si se suman los tres últimos puntos comentados y, el precio lo permite, es fácil pensar que es probable que el producto tenga una buena aceptación por parte del público.

A continuación, se muestran unos sketches de dicho producto:

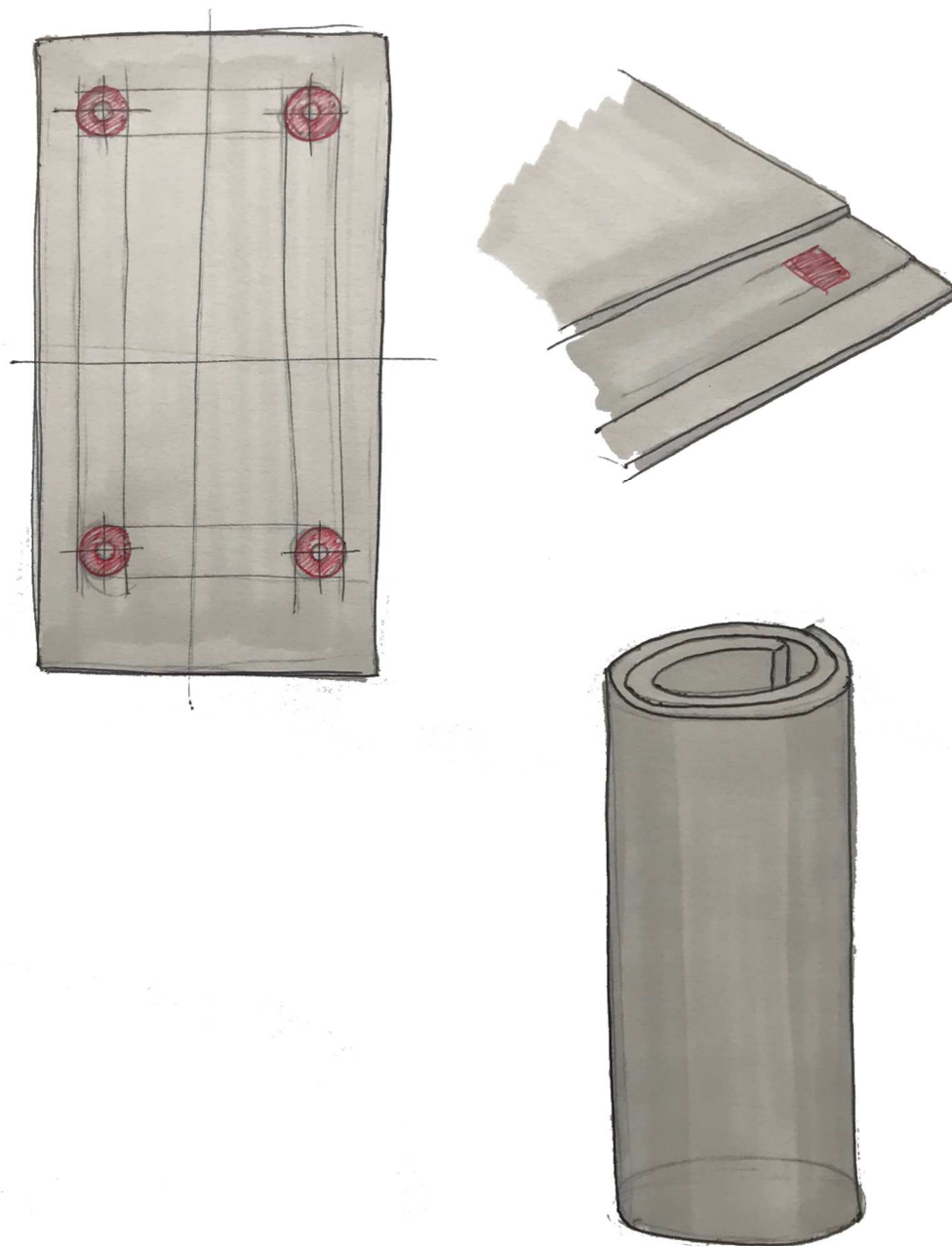


Figura 78. Sketch de la esterilla sensorizada

- **Bandas elásticas sensorizadas**

El caso de las bandas es muy parecido al caso estudiado anteriormente, la esterilla, ya que tienen muchos puntos en común. De nuevo, se trata de un producto existente al que se le ha añadido una mejora que aporta valor a la función del mismo.

Como en el caso anterior, se parte de una producción sencilla y fácil, que se ha visto afectada por la integración de los sensores, haciéndola de este modo, ligeramente más compleja. Se trata de nuevo de la transición de un producto creado a partir de moldes a un producto que debe contar con diversas capas.

Como ya se ha dicho anteriormente, supone un incremento en la complejidad de la producción, pero sigue siendo un producto fácil de producir, así como la integración de los sensores y sistemas de soporte también es fácil.

En contrapartida, el impacto económico y ambiental sufrirán un efecto negativo debido al aumento de material y tiempos de producción, como ya se ha comentado en el caso anterior.

En cuanto a la implementación, la situación también es la misma; a pesar de los pasos iniciales de sincronización y el mantenimiento de la batería, no se trata de una implementación difícil para el usuario.

Referente al público objetivo, cabe destacar que la realización de deporte en los domicilios es una tendencia creciente que cuenta cada día con más usuarios y, productos como las bandas o las esterillas son indispensables para su realización.

Del mismo modo, al tratarse de un producto ya existente, pero con la adición de una mejora poco común, se eleva la originalidad del mismo, ocasionando, junto con la fácil implementación y, si el factor económico lo permite, una probable aceptación positiva por parte del público objetivo.

A continuación, se muestran unos sketches de dicho producto:

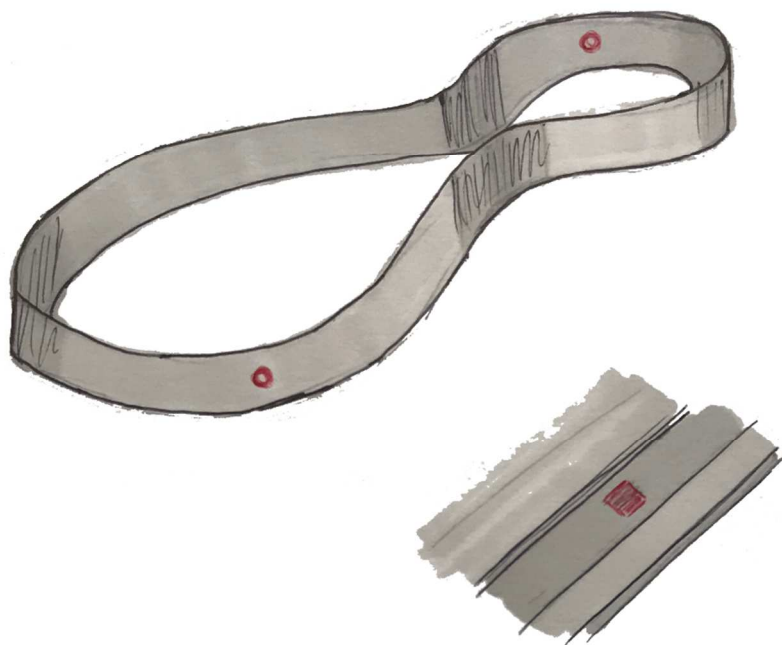


Figura 79. Sketch de las bandas elásticas sensorizadas

- Silla de ruedas sensorizada

Como en los casos anteriores, la silla de ruedas tampoco es un producto nuevo, sino que se ha añadido una mejora en sus funciones con el objetivo de mejorar la salud de su usuario y evitar posibles problemas circulatorios.

De este modo, el público objetivo queda muy bien definido y acotado, se trata de usuarios de sillas de ruedas, en general. Pero enfocado a aquellos que hacen un uso prolongado, de modo que quedan descartadas las sillas de ruedas usadas en hospitales para el traslado y transporte de los pacientes.

En cuanto a la producción e integración de los sensores, es necesario abordar los puntos críticos en estos procesos. El primero se trata de la instalación de los sensores en las zonas acolchadas de la silla. En este punto se plantean dos opciones, según el modelo de silla. Si las zonas en cuestión se producen directamente sobre la estructura de la silla o bien, si estas se producen aparte y posteriormente hay un proceso de ensamblado junto con la estructura.

En el primer caso, la producción e integración es más sencilla ya que simplemente hay que añadir los sensores en los puntos adecuados de las zonas acolchadas justo antes de revestirlos de tela, de modo que el sensor queda oculto, pero igualmente funcional. Otra opción podría ser la adición de los sensores en forma de parche o bordado en el revestimiento de tela de dichas zonas, de modo que el sensor queda a la vista y, más expuesto. En este último caso, hay que tener en cuenta que el cableado auxiliar no puede quedar descubierto.

En el caso de que las partes acolchas se produzcan aparte, el proceso puede seguir las dos variables mencionadas anteriormente, pero el ensamblaje del conjunto será más complejo porque hay que tener en cuenta el cableado y la electrónica del sistema.

El segundo punto crítico se encuentra en el ensamblaje de todas las partes que intervienen en el proceso, como justo se acaba de decir, éste será más complicado en el caso de que los sensores se instalen en los acolchamientos producidos aparte; por motivos de logística y facilidad de montaje. En cambio, es más sencillo en el caso de la instalación de sensores y acolchamientos directamente sobre la estructura.

Por último, hay que dotar al sistema de una dinamo, en el caso de sillas no motorizadas y, realizar las conexiones pertinentes en el caso de sillas motorizadas.

Como se ha visto, los procesos de producción e integración aumentan considerablemente el grado de complejidad, así como el tiempo de producción, ocasionando como consecuencia un impacto económico negativo sobre el producto, que se verá compensado irremediablemente con una subida del precio.

A nivel ambiental, la instalación de los sensores no produce ningún impacto destacable. No obstante, cabe mencionar que el consumo energético en el caso de las sillas motorizadas será superior.

En cuanto a la implementación, sigue existiendo el proceso de sincronización con el dispositivo móvil, pero desaparece el mantenimiento de la batería del sistema, ya que irá conectado a las baterías de la silla o bien mediante la dinamo. Así que se puede decir que se trata de una implementación fácil.

Como ya se ha dicho, el producto como tal ya existe, pero se le ha añadido un elemento que aporta valor al conjunto, de modo que la originalidad aumenta, ya que hay pocos dispositivos que puedan aportar este tipo de valor al producto.

Por último, es fácil pensar que dicho producto será bien recibido por el público, ya que, a pesar tener un precio más elevado, toda inversión en salud y en la evitación de posibles problemas vale la pena.

A continuación, se muestran unos sketches de dicho producto:

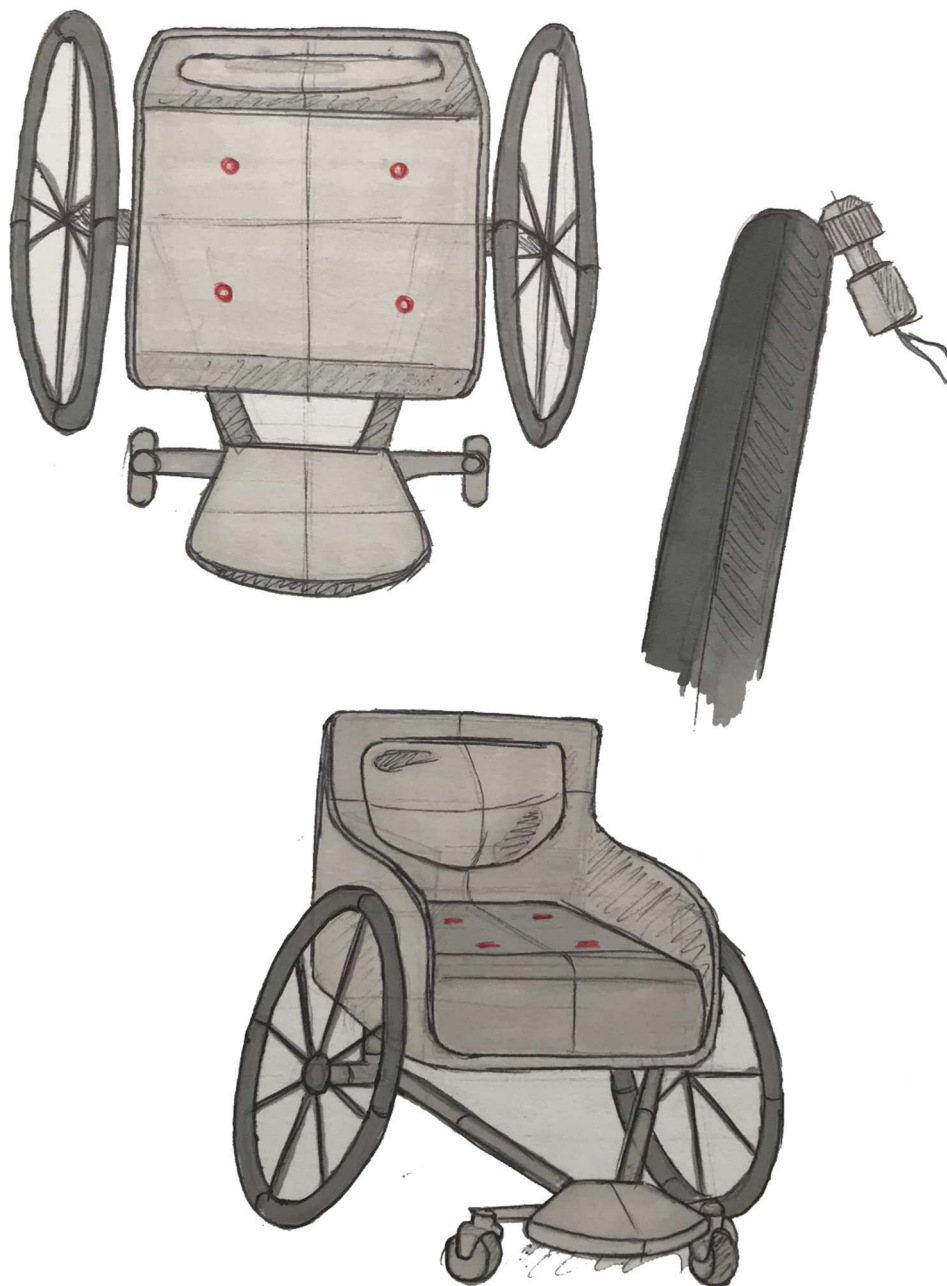


Figura 80. Sketch de la silla de ruedas sensorizada

- Cama de hospital sensorizada

Como en el campo del deporte, los productos de salud también son parecidos entre ellos o bien comparten ciertos aspectos. En este caso, se trata de una cama sensorizada, en lugar de una silla de ruedas, de modo que ciertos puntos serán muy parecidos.

En cuanto a producción e integración de los sensores, se supone se que se trata del mismo caso de la producción de los acolchamientos de la silla aparte. De modo que pueden estar descubiertos o bien, cubiertos los la tela de la superficie del colchón. Si solo se trata de integrar los sensores, no es una instalación demasiado compleja, pero si se quiere combinar con el sistema de muelles motorizados el nivel de dificultad se eleva mucho.

Se puede decir entonces, que la producción e integración presentará problemas, causando de nuevo un impacto a nivel económico. En este caso, el usuario no es quien pagará el producto, sino que será el Estado en cuanto a sanidad pública o bien, las compañías y clínicas privadas, en el caso de la sanidad privada. Aun así, también es un factor a tener en cuenta.

A nivel ambiental, también se experimenta un impacto negativo, debido al consumo de materiales y energía extra que supone la implantación de este sistema.

Hablando de implantación, el usuario no tiene ningún tipo de función en este campo, ya que recibe las acciones del producto de forma directa pero no interviene en el proceso. Cabe comentar que detrás de este producto, existe un extenso trabajo de programación y comunicación entre los sensores y los motores de los muelles, con el fin de desarrollar la actividad de forma adecuada.

El público objetivo se basa en un sector muy concentrado de la población, usuarios de residencias o pacientes de hospitales con una movilidad mínima o nula, causada por el motivo que sea. A pesar de esto, en este caso, como el producto no es adquirido directamente por el paciente, en la mayoría de los casos, los stakeholders como los hospitales, clínicas, residencias y el mismo Estado son quien jugará un papel decisivo en cuanto a la aceptación del producto.

Se trata de un producto corriente con una mejora innovadora que puede aportar grandes beneficios, pero el coste es elevado, de modo que no está claro si tendrá una buena aceptación por parte de los stakeholders que rodean al producto y al usuario directo.

A continuación, se muestran unos sketches de dicho producto:

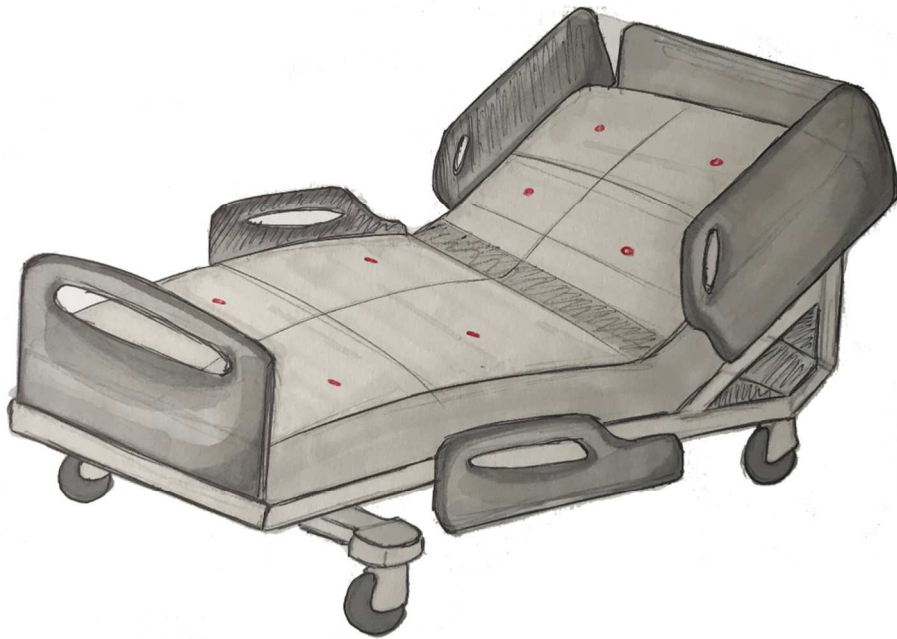


Figura 81. Sketch de la cama de hospital sensorizada

- Asiento sensorizado

Siguiendo con la tónica de los productos anteriores, pero con un enfoque sobre la seguridad, se presenta el asiento de automóvil sensorizado. Obviamente, el producto ya existe, pero se le añaden los sensores con el objetivo de detectar patrones de sueño durante la conducción, y despertar al conductor.

En cuanto a la integración, como en los casos anteriores, los sensores pueden estar descubiertos, mediante el uso de parches o bordados, o bien cubiertos por la tela superficial del asiento. En ambos casos hay que tener en cuenta el cableado y el sistema electrónico, pero al no haber grandes cambios mecánicos, no supone un gran reto.

Aun así, referente a la producción, hay que añadir estos pasos extra de integración, que en el caso de producciones en serie en fábricas muy optimizadas puede suponer un problema.

De modo que dependiendo del tipo de modificaciones en las cadenas de montaje puede suponer una pérdida de dinero, causando un impacto negativo económicamente. En cuanto al impacto ambiental, es cierto que hay un aumento de los recursos empleados, pero no representa un impacto negativo.

En cuanto a la implementación, al tratarse de un producto totalmente automatizado, el usuario no tiene que realizar ninguna configuración ni sincronización. Aun así, es importante que el usuario esté al tanto de las funciones añadidas al automóvil. Cabe destacar el trabajo de programación que hay detrás del funcionamiento del sistema, ya que hay que coordinarlo con el ordenador del automóvil.

Si bien es cierto que existen otros productos o gadgets que cumplen con la misma función, hacen uso de tecnología de reconocimiento facial en lugar de tecnología de sensores, de modo que la originalidad no es un punto fuerte de este producto.

Referente al público objetivo, se puede considerar a todo el conjunto de usuarios de automóviles, pero aquellos que le pueden dar un mejor uso o bien les será más útil, son los transportistas y/o aquellos conductores que deban recorrer largas distancias. A pesar de esta matización, se trata de un público muy extendido.

Al final, se trata de una función más dentro de la complejidad de un automóvil, pero al tratarse de un gadget no esencial que aumentará el coste del automóvil, es probable que la aceptación del público no sea la mejor.

A continuación, se muestran unos sketches de dicho producto:

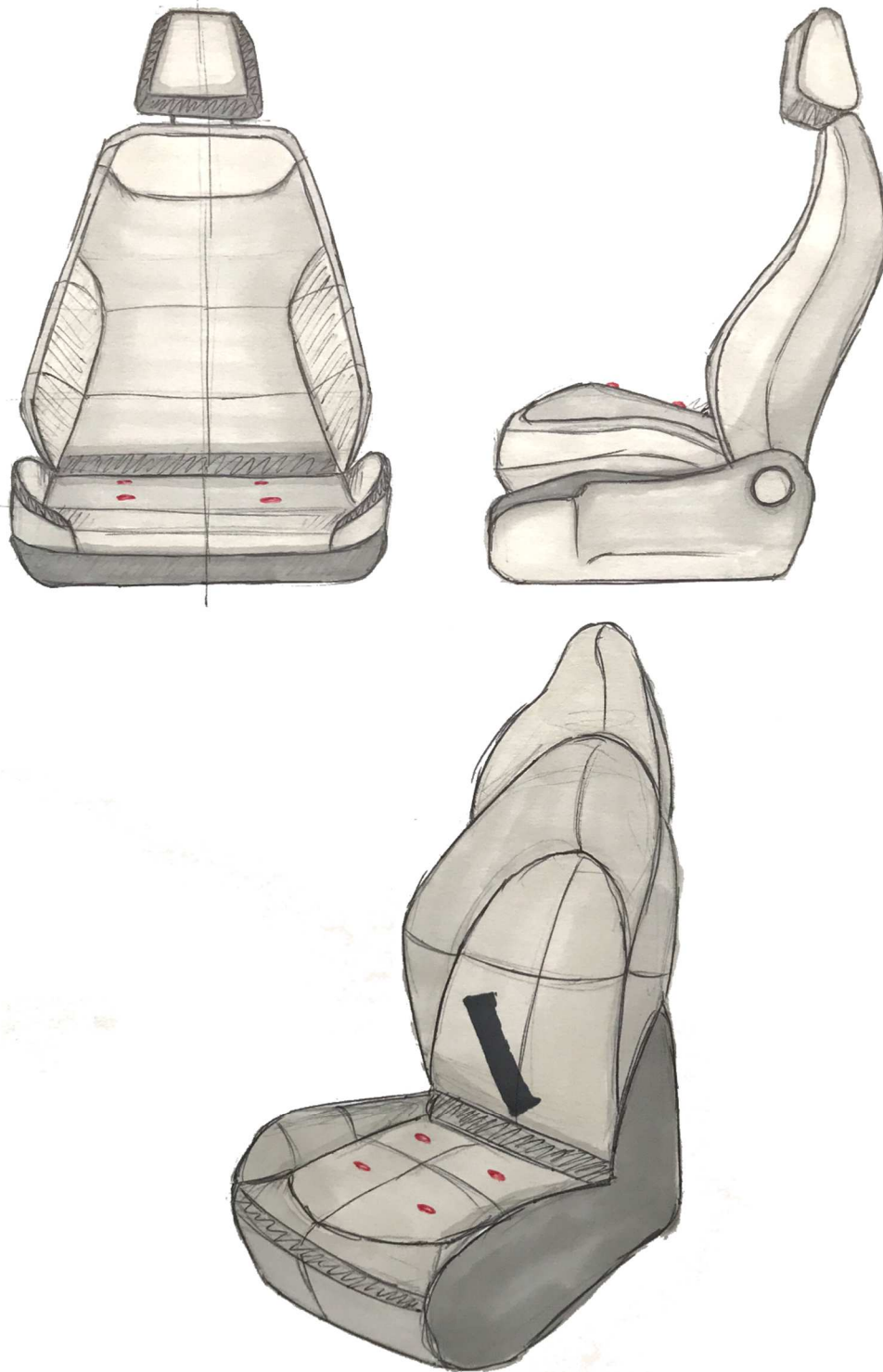


Figura 82. Sketch del asiento de coche sensorizado

- **Bicicleta sensorizada**

En este caso, el producto también se sitúa dentro del mundo de la seguridad vial, pero su función es dar visibilidad al vehículo. Al tratarse de una bicicleta, quizás el vehículo más vulnerable, toda ayuda para mejorar su visibilidad es buena.

En este caso, se trata de la luz trasera que, a pesar de ser obligatoria, muchas veces es olvidada debido a sus pequeñas dimensiones.

Así pues, en cuanto a la integración de los sensores en el sillín y asideros del manillar, se hace uso de los métodos comentados en los casos anteriores. Mediante el parcheado o bordado, quedando al descubierto o bien, recubiertos por la capa superficial en ambas superficies. De este modo, se determina que la integración de los sensores no supone un gran reto.

Como en los casos anteriores, la producción debe incluir los pasos de ensamblado de los sensores y todo el cableado adyacente, así como la dinamo para proporcionar energía al sistema, en el caso de bicicletas convencionales o bien, la conexión con el motor en el caso de las bicicletas eléctricas.

El aumento del número de pasos en la producción, supone un aumento de costes debido a los materiales extra usados, así como el aumento de tiempo de producción por unidad. Causando de este modo, un impacto económico negativo, solucionado irremediablemente con un aumento del precio.

En cuanto al impacto ambiental, como en casos anteriores, solo se ve afectado ligeramente de forma negativa por el aumento de materiales empleados.

Referente a la implementación, no existe ningún problema ya que el usuario solo debe conducir la bicicleta y, mediante la detección de su peso la luz trasera se enciende automáticamente. La batería tampoco es un problema ya que con el propio avance de la bicicleta se recarga la batería del sistema. En el caso de la bicicleta eléctrica, al cargar la batería del motor ya se está dotando al sistema de la energía suficiente para funcionar, de modo que no supone un esfuerzo extra.

Si el usuario desea pedalear sin reposar su peso en el sillín, los sensores de los asideros del manillar seguirán detectando su presión, de modo que el sistema seguirá activo.

En este caso, el producto sí cuenta con prestaciones innovadoras, ya que en la mayoría de casos, la luz trasera usa una dinamo para dotarse de energía, pero es el usuario quien debe encenderla y apagarla convenientemente, de modo que mediante los sensores se suprimen estas acciones.

En cuanto a público objetivo, comprende todos los usuarios de bicicletas, si bien es cierto que en España no son un colectivo mayoritario, la concienciación medioambiental hace que el número de usuarios muestre una tendencia al alza.

Si se suman estos dos últimos factores y, si el precio lo permite, es fácil pensar que la aceptación del producto es probable que sea favorable.

A continuación, se muestran unos sketches de dicho producto:

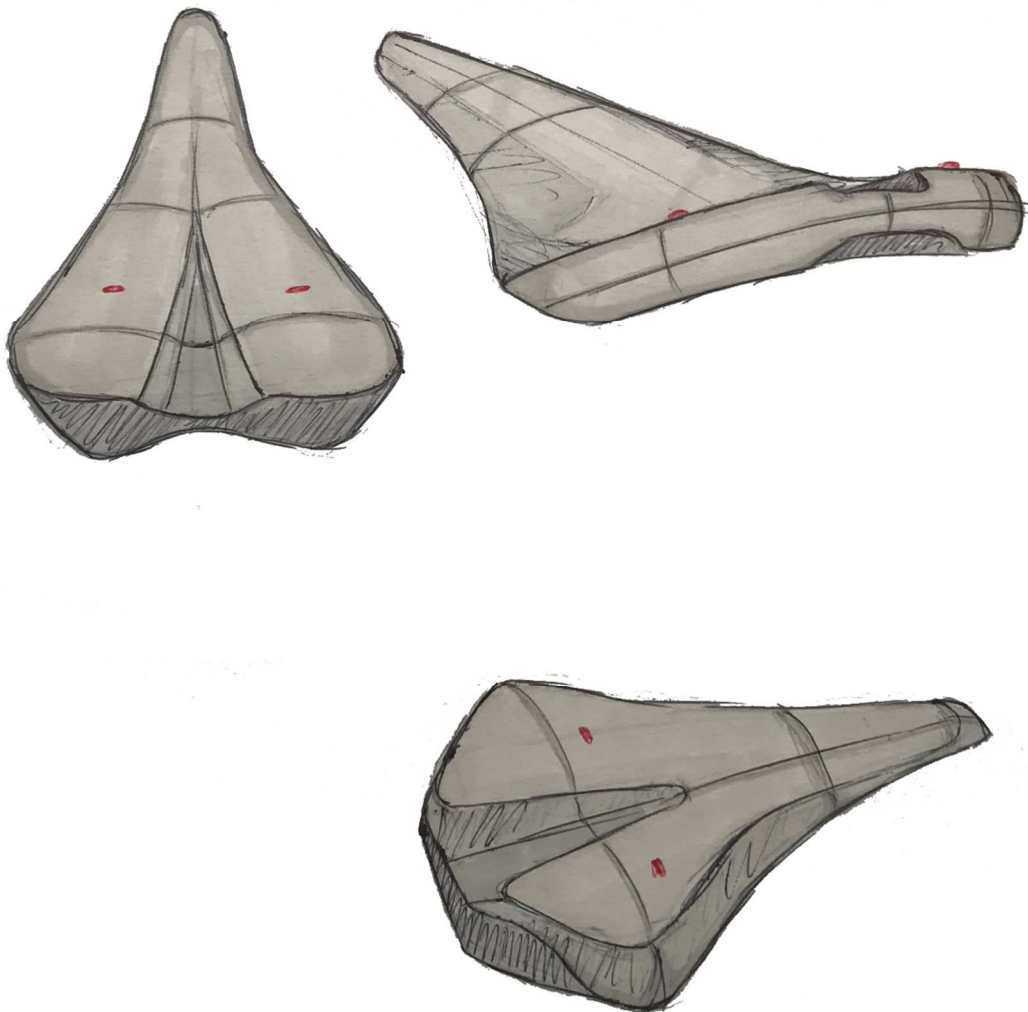


Figura 83. Sketch del sillín de bicicleta sensorizado

- **Sofá domótico sensorizado**

En este caso, se combina mobiliario existente con la domótica, pero esta conexión entre el mobiliario y los sistemas automatizados de la vivienda se realiza mediante sensores textiles de presión, de modo que se ha innovado en cuanto a la interfaz de comunicación entre el usuario y el sistema en general, a pesar de que el producto como tal ya exista, pero con otros métodos de comunicación.

En cuanto a la integración de los sensores, se puede utilizar el parcheado o el bordado de los mismos, ya que en este caso deben estar a la vista para poder usarlos. Hay que tener en cuenta que la electrónica y el sistema de comunicación con la centralita domótica debe de estar escondido y no perturbar ni molestar al usuario. A pesar de este último apunte, no se trata de una integración complicada.

Referente a la producción, hay que añadir las etapas de integración del sensor a la línea de producción, de modo que como la mayoría de casos esto supone un aumento en consumo de materiales y tiempo. Aun así, no representa un impacto económico muy grande. Lo mismo sucede con el impacto ambiental, si bien es cierto que se hace uso de más materiales, no representa un cambio catastrófico.

Para la implementación, el usuario debe tener claro el funcionamiento del sistema; cabe remarcar que es muy intuitivo y, los usuarios de domótica saben el tipo de acciones que hay que realizar para interactuar con sus hogares. Es importante mencionar que debe haber un trabajo de programación detrás del sistema, para que la comunicación de las lecturas del sensor y las funciones a desarrollar sean las correctas.

El punto anterior ha definido el público objetivo, en este caso, usuarios de la domótica. No es un público muy extenso actualmente, debido al coste de la domotización de las viviendas, pero es cierto que presenta una tendencia que aumenta con los años, ya que cada vez se busca más el confort con el mínimo esfuerzo posible.

Así pues, la aceptación dependerá del coste final del producto, aunque es cierto que el público de este tipo de artículos ya sabe que se enfrenta a precios elevados, de modo que es probable que el producto en cuestión reciba una aceptación positiva por parte del público objetivo.

A continuación, se muestran unos sketches de dicho producto:

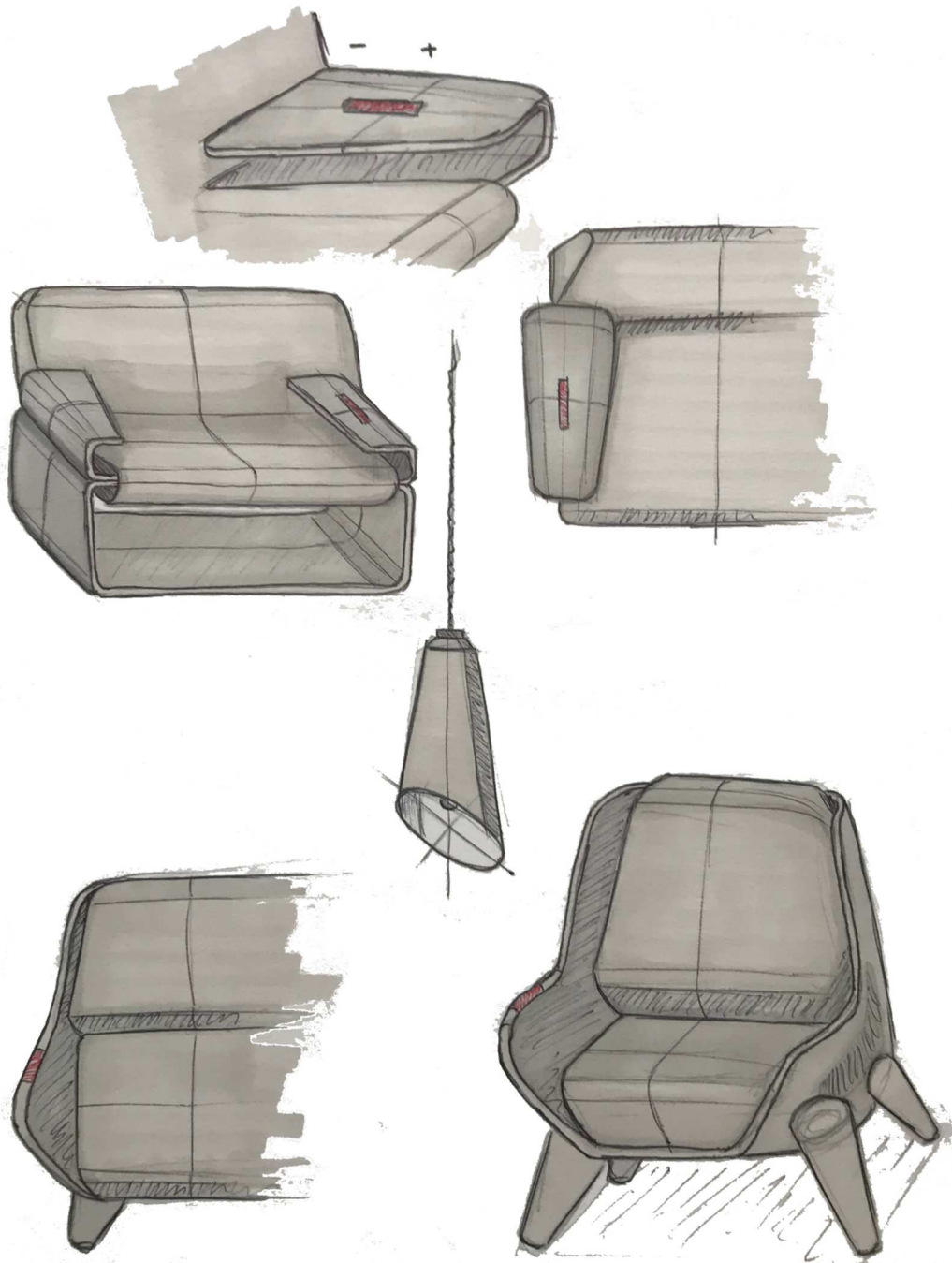


Figura 84. Sketch del sofá domótico sensorizado

- **Alfombra domótica sensorizada**

El último artículo propuesto es muy similar al anterior, ya que los dos provienen del mundo de la domótica, de modo que compartirán las características de la mayoría de los aspectos a tratar.

En cuanto a la integración de los sensores y la producción, se siguen los mismos pasos comentados anteriormente. Los sensores se integran mediante parches o bordados, de modo que hay que tener en cuenta estos pasos durante la producción.

Al aumentar el número de pasos en la producción, así como la cantidad de material empleado, el coste total del producto se verá afectado, de modo que sufrirá una subida de precio con el objetivo de compensar el impacto económico producido.

Como es lógico, también habrá un cierto impacto ambiental debido al aumento de materiales empleados, como en los casos anteriores. Tanto el impacto económico como el ambiental no se consideran impactos de gran relevancia.

Referente a la implementación, el usuario no debe hacer nada en concreto para accionar el funcionamiento del sistema, simplemente debe pisar la alfombra al entrar y salir de su vivienda, hecho que se hace de manera automática.

Cabe mencionar de nuevo, que debe haber un trabajo de programación detrás para coordinar las lecturas del sensor con las acciones que se desea realizar.

En este caso, el público objetivo es el mismo que en el anterior, usuarios de las viviendas domóticas. Dichos usuarios, saben que se enfrentan a productos de valor elevado, generalmente, de modo que es probable que la aceptación del producto sea bien recibida por el público objetivo.

A continuación, se muestran unos sketches de dicho producto:

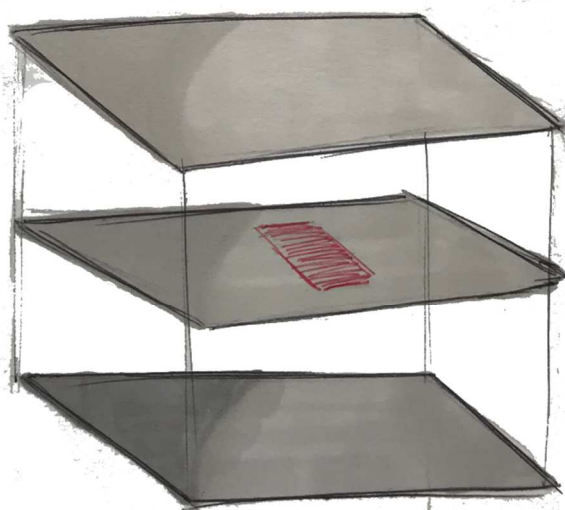
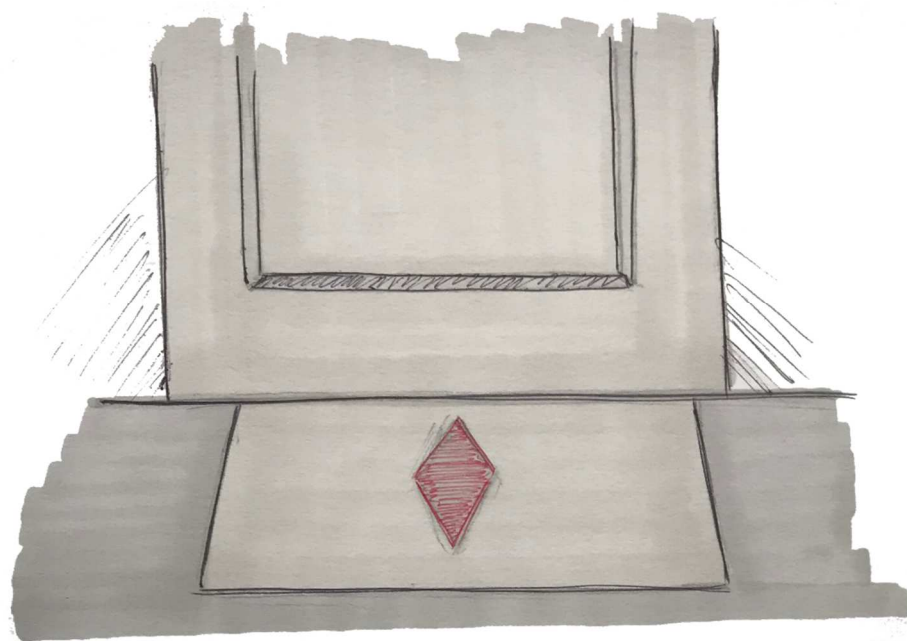


Figura 85. Sketch de la alfombra domótica sensorizada

Comparativa

Una vez analizados los parámetros más relevantes para una correcta evaluación de todos los productos, es el momento de realizar una comparación entre ellos, con el objetivo de determinar cuál es el producto más óptimo a todos los niveles.

Para llevar a cabo esta comparación se cuantificarán numéricamente todos los parámetros estudiados, de modo que se puedan comparar de un modo objetivo. Para mostrar los resultados, se hará uso de una matriz comparativa.

Los criterios de cuantificación son los siguientes:

- Producción: del 1 al 5, qué tan compleja es la producción del producto, siendo 5 poco compleja y 1 muy compleja.
- Integración: del 1 al 5, qué tan compleja es la integración del sensor en el producto, siendo 5 poco compleja y 1 muy compleja.
- Implementación: del 1 al 5, qué tan compleja es la implementación del producto, siendo 5 poco compleja y 1 muy compleja.
- Originalidad: del 1 al 5, qué nivel de innovación hay en el producto, siendo 5 muy innovador y 1 poco innovador.
- Impacto económico: del 1 al 5, qué nivel de impacto económico supone la instalación de los sensores en el producto, siendo 5 un impacto leve y 1 un impacto elevado.
- Impacto ambiental: del 1 al 5, qué nivel de impacto ambiental supone la instalación de los sensores en el producto, siendo 5 un impacto leve y 1 un impacto elevado.
- Público objetivo: qué potencial tiene el público al que se dirige el producto, siendo 5 un potencial elevado y 1 un potencial reducido.
- Aceptación: qué grado de aceptación recibirá el producto, siendo 5 un grado de aceptación elevado y 1 un grado de aceptación bajo.

Una vez definidos los criterios de puntuación, se puede proceder a realizar la matriz comparativa:

	Producción	Integración	Implementación	Originalidad	Impacto Económico	Impacto Ambiental	Público	Aceptación	Total
Esterilla	4	4	4	3	3	3	3	4	28
Bandas elásticas	4	4	4	3	3	3	3	3	27
Silla de ruedas	3	3	4	4	3	3	4	3	27
Cama hospital	2	3	4	4	2	2	4	2	23
Asiento coche	3	3	5	2	2	3	3	3	24
Sillín y asideros	3	4	5	3	3	3	2	3	26
Sofá	3	3	4	3	2	3	2	3	23
Alfombra	3	3	4	3	3	3	2	3	24

Tabla 13. Matriz comparativa

Una vez realizada la matriz, se pueden analizar y comparar los productos por cada parámetro marcado. Mediante este análisis, se podrá ver los puntos fuertes y débiles de cada uno de ellos, así como qué producto es el mejor según el campo a estudiar.

- **Producción**

En este campo, se puede ver que los artículos con más puntuación son la esterilla y las bandas elásticas, esto es debido a que su producción habitual es mucho más simple que en los otros productos; si bien es cierto que los cambios añadidos aumentan ligeramente la complejidad de la producción, no significan un cambio notorio.

Por otro lado, el producto con menos puntuación es la cama de hospital, ya que a causa de su complejidad las dificultades de producción aumentan y, más aún con los cambios introducidos en el rediseño.

Más adelante habrá que valorar si la complejidad de producción interfiere en la selección del producto final ya que, siguiendo esta regla, los productos más simples tienen una ventaja intrínseca respecto a otros, hecho que no significa que sean mejores.

- **Integración**

En cuanto a la integración, en general, se observa que no se trata de un proceso muy complicado, aun así, los productos que obtienen una mejor puntuación son la esterilla y las bandas elásticas, de nuevo y, el sillín y los asideros de la bicicleta.

Como la integración de los sensores está estrechamente ligada con la producción del artículo, es normal que aquellos productos con una producción más simple, conlleven también una integración simple.

Como con la producción, el hecho de que los sensores sean más fáciles de integrar en unos productos que en otros, no significa que estos sean mejores, ya que se repetiría la situación comentada anteriormente, los artículos más simples tendrían una ventaja intrínseca.

- **Implementación**

En cuanto a la implementación, todos los artículos obtienen buena calificación, ya que en la mayoría de ellos la implementación es muy sencilla, ya que consiste en sincronizar el sistema con un dispositivo móvil. O bien, no hay ningún tipo de implementación ya que el sensor realiza las funciones automáticamente sin necesidad de conexión con el dispositivo del usuario, como en el caso de los asientos para automóviles y el sillín y los asideros de las bicicletas.

A pesar de estos factores, es importante mencionar que detrás de esta fácil implementación debe haber un gran y riguroso trabajo de programación con el objetivo de que el sistema pueda interpretar de forma correcta las lecturas de los sensores y, pueda dar una respuesta rápida y entendible para el usuario.

- **Originalidad**

En el campo de la originalidad las calificaciones son bastante diversas. Si bien es cierto que todos los casos se tratan de rediseños de productos ya existentes, en algunos las funciones añadidas son más innovadoras que en otros.

El caso del asiento del automóvil es un claro ejemplo de una función poco innovadora, ya que existe otro tipo de tecnología que lleva a cabo la misma función, se trata del reconocimiento facial.

En el otro extremo, se sitúan la silla de ruedas y la cama de hospital, que mediante la tecnología de los sensores introducen una nueva funcionalidad al producto, de modo que en este caso si se trata de una mejora innovadora.

- **Impacto económico**

En este caso, sucede algo parecido a la producción, aquellos productos cuya producción esté basada en producciones en serie o en cadena y cuenten con una fábrica muy automatizada recibirán un impacto económico negativo más potente, ya que la reubicación y reorganización de dichas fábricas suele ser un proceso costoso; como es el caso de los asientos de coche, las camas de hospital y los sofás.

Por otro lado, también se puede decir que los productos que tienen, ya de por sí, un precio elevado, la introducción de una nueva parte no supondrá una gran carga económica en relación con el coste total del producto.

Y lo contrario puede suceder en cuanto a los productos más económicos. Habrá que tener en cuenta estos factores en la decisión final.

- **Impacto ambiental**

En la mayoría de productos se produce cierto impacto ambiental debido a la adición de materiales para la fabricación del rediseño.

Únicamente en el caso de la cama de hospital se produce un impacto más notable, debido a que el diseño incluye unos muelles motorizados, hecho que implica el consumo de más recursos.

- **Público**

Las calificaciones para el público se pueden dividir en tres secciones. La primera sección comprende aquellos productos cuyo público es reducido, bien sea porque el número de personas que puedan usar el producto es reducido o bien, porque se trata de un producto que no es de primera necesidad, sino que se enfoca al bienestar o es de carácter ocioso. Es el caso de la alfombra y el sofá domóticos, y el sillín y asideros para la bicicleta, que reciben de este modo la calificación más baja.

En la segunda sección se encuentran los productos cuyo nombre de usuario es más grande, aunque siguen sin ser un producto o bien de primera necesidad. Es el caso de los asientos de los automóviles y los artículos relacionados con el deporte, la esterilla y las bandas elásticas sensorizadas, que reciben una puntuación intermedia.

Finalmente, en la última sección se encuentran los productos cuyo público es muy específico y el bien que se presta es de primera necesidad o proporciona algún tipo de ayuda fundamental a sus usuarios; se trata de la cama de hospital y la silla de ruedas. Por estos motivos reciben la puntuación más elevada.

Al fin y al cabo, en este apartado se valora el potencial del público, que no es sinónimo de número de usuarios, sino de qué tan útil puede ser el producto para un sector determinado de la población.

- **Aceptación**

La aceptación del producto es un factor que va estrechamente ligado con el precio del mismo, la necesidad que cubre y quién pagará por él.

Así pues, se puede ver que en general no existe una mala aceptación, excepto por el caso de la cama de hospital, cuyo precio será sin duda elevado y, no es el propio usuario quien paga por ella, sino que se trata del Estado o bien los centros de salud privados.

Por otro lado, la esterilla presenta una mejor aceptación que la media porque se trata de un producto útil, popular y de precio reducido.

Una vez analizados todos los factores es momento de analizar los resultados obtenidos. Los resultados se pueden dividir en dos secciones. Los productos que han obtenido una puntuación más baja: la alfombra y el sofá domóticos, los asientos de automóviles y la cama de hospital.

Todos estos productos incluyen ciertos hándicaps que han causado una bajada en su puntuación. En el caso de los artículos domóticos se trata de su elevado precio y su público reducido. En cuanto a los asientos y la cama, se trata también de su elevado precio y baja aceptación, en el caso de la cama y, la poca originalidad en el caso del asiento.

La segunda sección comprende los productos que han obtenido una puntuación más elevada, que son: los artículos de deporte (esterilla y bandas elásticas), la silla de ruedas y, el sillín y asideros de la bicicleta. Estos productos han sido capaces de cubrir sus debilidades con otras propiedades que les han hecho ganar puntos.

En el caso de los artículos de deporte, la originalidad y el bajo coste de producción han jugado a favor de su puntuación.

En cuanto a la silla de ruedas, al cubrir una necesidad de un sector muy concreto de la población, sin causar variaciones catastróficas en el proceso de producción, ha sido posible obtener una puntuación elevada.

Finalmente, en el caso del sillín, la fácil implementación e integración ha jugado a su favor, favoreciendo de este modo, la obtención de una puntuación elevada también.

Si bien es cierto que se han analizado factores y características que aportan información objetiva acerca del rendimiento y futuro de cada artículo, hay otro factor que se debería tener en cuenta en el momento de la elección final del producto. Se trata del valor, el valor que puede añadir el rediseño a los productos iniciales.

Sin tener en cuenta el valor añadido, el producto que ha obtenido una mayor puntuación es la esterilla sensorizada, debido a los factores comentados en los puntos anteriores. Sin embargo, si se tiene en cuenta la cantidad de valor que se les añade a los rediseños, los resultados finales varían. De modo que, para mostrar el impacto que ocasiona el valor en cada producto, se ha realizado una nueva matriz comparativa donde se suma el valor a cada uno de los productos.

La metodología seguida es la misma que en la matriz de puntuaciones anterior, es decir, se valora del 1 al 5 el valor que aporta cada propuesta de diseño, siendo 1 un valor bajo o nulo y, siendo 5 un valor elevado:

	Subtotal	Valor	Total
Esterilla	28	2	30
Bandas elásticas	27	2	29
Silla de ruedas	27	4	31
Cama hospital	23	4	27
Asiento coche	24	3	27
Sillín y asideros	26	3	29
Sofá	23	2	25
Alfombra	24	2	24

Tabla 14. Ponderación del valor

Se puede ver que la silla de ruedas, es el producto con más puntuación ya que, al ser del sector de la salud, se pretende mejorar la vida o el estado de sus usuarios, de modo que compensa los hándicaps que puede tener en cuanto a producción y precio, debido a la calidad de este valor que se le añade al producto convencional.

Así pues, y para concluir este apartado, se dictamina que el producto escogido para su posterior estudio y desarrollo es la silla de ruedas.

Es interesante estudiar si hay alguna manera de modificar el producto para mejorar los factores donde muestra más debilidad, pero sin perder la esencia del mismo.

Dichos factores son la producción y el precio. Al ser aspectos que van muy ligados, si se encuentra una manera de facilitar la producción, el coste se verá reducido.

Se trata de un producto complejo, compuesto por numerosas partes, hecho principal por el cual la producción es complicada, así como su precio es elevado. Si se analiza la parte que realmente crea un impacto mediante la adición de los sensores, se trata únicamente del culo y respaldo de la silla, de modo que todos los demás elementos no aportan nada al rediseño.

Si se eliminan todos estos elementos sobrantes, a los cuales no les afecta el rediseño y, solo se toma y se aísla aquellos que sí sufren un impacto, el producto final se ve reducido a unos cojines sensorizados unidos a una silla de ruedas convencional.

Así pues, a partir de un producto complejo, se ha llegado a un producto mucho más simple, que mantiene la esencia inicial, reduciendo las complicaciones de producción, así como los costes generales del mismo.

A parte, al tratarse de un complemento de la silla de ruedas, la versatilidad del producto aumenta, ya que es probable que se pueda usar en más de un modelo o marca de silla.

Después de esta última vuelta de tuerca, se dictamina finalmente, que el producto escogido para su posterior estudio y desarrollo es un conjunto de cojines sensorizados adaptables a las sillas de ruedas, para detectar malas posturas y apoyos, con el objetivo de evitar futuras lesiones o secuelas debido a los problemas circulatorios derivados de estas malas praxis.

Conclusiones

Una vez realizado todo el proceso de investigación de mercado y selección del producto es momento de sacar los insights de cada uno de estos apartados.

En cuanto a la investigación de mercado, se ha visto que la implementación de sensores textiles de presión es un campo con un nivel de explotación, como mínimo, desequilibrado teniendo en cuenta el gran espectro de sectores donde pueden tener aplicación. Aun así, se llegó a la conclusión de que los campos donde este tipo de tecnología puede tener cabida y, aportar cierto valor, se dividen en cuatro sectores: el deporte, la salud, la seguridad y el bienestar.

Por un lado, el campo del deporte y la salud son los campos que cuentan con una explotación mayor, aunque los diseños vistos se centran, generalmente, en la monitorización de ciertas constantes vitales. Por otro lado, otros campos como la seguridad y el bienestar muestran una explotación menor o nula, centrada en la domótica y los videojuegos dinámicos.

Partiendo de esta base, se ha intentado pensar en productos que puedan tener cabida dentro de estos campos, pero intentando desmarcarse un poco de sus competidores actuales. De entre estos productos se ha seleccionado el producto final a desarrollar.

Para evaluar las características del funcionamiento y futuro de las ocho propuestas, se ha decidido abordar los campos que mayor impacto tienen en toda la vida del producto, partiendo desde la producción e integración de los sensores, hasta el impacto económico y ambiental que generan y pasando por su implementación, el público objetivo y la aceptación de mercado.

Una vez evaluados estos campos, se cayó en la cuenta de que existen otros parámetros importantes, pero de carácter más subjetivo, que tienen importancia en el momento de seleccionar el producto a desarrollar; se trata del valor. Entendiendo como valor, qué tan útil o en qué grado se mejora la vida del usuario. Si bien es cierto que el valor puede ser un factor subjetivo, al final los productos se adquieren por el impacto que pueden generar en el día a día del usuario. Por este motivo, se ha considerado el valor como un factor crucial a tener en cuenta.

A continuación, después del análisis objetivo y la ponderación del valor de un modo más subjetivo, se ha determinado que el producto a desarrollar es la silla de ruedas sensorizada. A pesar de no ser el producto que obtuvo mejor puntuación, sí que es de los más prometedores, así como uno de los que tienen más potencial a nivel de valor añadido.

Finalmente, se ha dado una vuelta de tuerca más al producto escogido para tratar de minimizar los puntos débiles. Mediante un análisis muy simple se ha visto que se puede diseñar un producto mucho más simple manteniendo la esencia de la idea inicial. Dicho producto se trata de un conjunto de cojines sensorizados adaptables a las sillas de ruedas.

Mediante este último estudio, se ha concretado el producto a desarrollar posteriormente, ya que finalmente, se han minimizado al máximo los puntos débiles que presentaba la idea inicial.

FASE DE DESARROLLO

Una vez realizadas la investigación de mercado, donde se obtuvo una visión general de lo que ofrece el mercado actual y, la selección de producto donde se plantearon y analizaron 8 propuestas de diseño y finalmente, se seleccionó la mejor de entre todas ellas, llega el momento del desarrollo del diseño escogido.

En este apartado se tratarán todos los aspectos que intervendrán en el desarrollo del producto, desde una investigación de mercado específica del sector del producto seleccionado, hasta un estudio de costes y modelo de negocio, pasando por los procesos de producción, estudios ergonómicos y normativas relacionadas, entre otros.

Sin embargo, es indispensable realizar una propuesta formal del producto en cuestión antes de llevar a cabo los pasos mencionados anteriormente.

Así pues, el producto a desarrollar consiste en un conjunto de cojines sensorizados destinados a ser implementados en sillas de ruedas, con el objetivo de detectar malas posturas que podrían ocasionar problemas circulatorios si se prolongan en el tiempo.

Cuando se habla de conjunto, se hace referencia a un kit de dos cojines; uno va destinado a ser colocado en el culo de la silla, mientras que el otro va destinado al respaldo de la misma. De modo que se pueden detectar malas conductas, en cuanto a apoyos, en ambas superficies de soporte de la silla.

Para detectar dichas malas posturas, se hará uso de sensores textiles resistivos de presión colocados estratégicamente a lo largo y ancho de las superficies de apoyo. Para llevar a cabo este análisis, se seguirá una directriz muy simple comentada en apartados anteriores: se supone que, si dos puntos simétricos alineados reciben valores diferentes de presión, se está adoptando una mala postura, ya que el peso corporal no está repartido equitativamente. Si esta tendencia se prolonga en el tiempo puede generar problemas circulatorios.

Mediante esta explicación, se pone de manifiesto que no importa tanto el valor de presión recibido, sino que ambos valores de presión alineados se asemejen.

Obviamente habrá que dotar al sistema de algún tipo de alerta con el objetivo de avisar al usuario cuando se den los escenarios de riesgo y éste, pueda recolocarse evitando de este modo futuras lesiones.

En cuanto a la alimentación del sistema, como ya se ha mencionado en apartados anteriores, se obtendrá mediante el uso de una dinamo, que cargue las baterías con el propio movimiento de la silla.

Si bien es cierto que algunas cuestiones del producto son aún difusas, a lo largo del apartado de desarrollo se irán resolviendo, pero la esencia y funcionamiento del producto queda definido completamente.

A continuación, se realizará una investigación de mercado específica en el sector de impacto del producto a desarrollar, con el objetivo de poder encuadrar el alcance del producto.

Investigación de mercado específica

Como justo se acaba de comentar, la investigación se centrará en el mundo de las sillas de ruedas y sus complementos. Se analizarán las sillas más usadas y vendidas actualmente y, se evaluará la posibilidad de la implementación de los cojines sensorizados.

De este modo, se puede acotar el alcance del producto a desarrollar y, diseñar un producto más específico y concreto.

Sillas de ruedas

Primeramente, es importante mencionar que existen dos grandes tipos de sillas de ruedas. Por un lado, las sillas de ruedas convencionales; aquellas cuyo movimiento viene dado bien por la acción de girar las ruedas traseras por el mismo usuario o bien, aquellas cuyo movimiento viene dado por el empuje de una tercera persona desde la parte posterior de la misma.

Por otro lado, están las sillas motorizadas, aquellas cuyo movimiento viene dado por la acción de un motor.

A continuación, se definirán los subgrupos de sillas dentro de estas dos grandes familias:

Sillas de ruedas convencionales

La principal característica que diferencia este tipo de sillas de las motorizadas es que el movimiento viene dado por la acción humana. Según el uso que se le quiere dar a la silla o el público al que va dirigido, las prestaciones de la silla variarán, así como sus partes y estructura.

Seguidamente, se muestran los subgrupos de sillas existentes dentro de las sillas de ruedas convencionales:

- **Sillas de ruedas ligeras**

Este tipo de silla se centra en reducir al máximo su peso. Para llegar a este objetivo, se hace uso de materiales ligeros, tales como titanio o aluminio de aviación para el esqueleto o estructura y, fibra de carbono para las partes no estructurales, como los reposabrazos y respaldo.

Se trata de sillas cuyo chasis tiene una masa muy reducida. La reducción del peso aporta un menor esfuerzo del usuario para moverse, así como una facilidad en el transporte de la misma. Es importante mencionar que también pueden ser plegables, hecho que facilita aún más su transporte

No cuentan con una finalidad definida, se trata de una silla versátil que simplemente pretende mejorar la confortabilidad del usuario.

A continuación, se muestran algunas marcas que ofrecen este modelo de sillas:

- o RGK

Esta compañía está especializada en el diseño y fabricación de sillas de ruedas ligeras y deportivas. Seguidamente, se muestran los modelos más populares de su catálogo, dentro del sector de sillas ligeras [19]:

Tiga sub4: se trata de una silla con un chasis fabricado a base de aluminio aeroespacial, con un peso por debajo de 4 kilogramos [19].



Figura 86. Tiga sub4 [19]

Hi Lite: en este caso, el chasis está fabricado con tubos de titanio, cuenta también con personalización y, ofrece unas líneas clásicas y elegantes, según el fabricante. Pero cuenta con un peso mayor, alrededor de los 7 kilogramos [19].



Figura 87. Hi Lite [19]

- o Quickie

Esta marca fabrica todo tipo de sillas de ruedas convencionales, desde las estudiadas en este apartado, hasta artículos de carácter más deportivo y accesorios. A continuación, se muestran los modelos más populares de su catálogo, dentro del sector de sillas ligeras [20]:

Krypton R: es la silla más ligera que ofrecen, fabricada a partir de carbono cuenta con un peso de solo 3.65 kilogramos. Al ser tan compacta, no es posible que sea plegable [20].



Figura 88. Krypton R [20]

Helium Pro: la característica principal de este modelo es que, aparte de ser ligera, presenta una alta rigidez debido a la soldadura entre el respaldo y el chasis de la silla. Cuenta con un peso aproximado de 6.5 kilogramos [20].



Figura 89. Helium Pro [20]

- Sillas de ruedas deportivas

Este tipo de sillas están especialmente diseñadas para ser utilizadas durante la práctica de deporte. Requieren velocidad, estabilidad y facilidad de giro, de modo que tienen que poseer una estructura ligera para minimizar el esfuerzo del usuario, así como una cierta angulación en las ruedas para facilitar el manejo y los giros de la misma.

A continuación, se muestran algunas marcas que ofrecen este modelo de sillas:

o RGK

Como se ha mencionado anteriormente, esta compañía está especializada en el diseño de sillas deportivas. Seguidamente, se muestran los modelos más populares de su catálogo, dentro del sector de sillas deportivas [19]:

Elite X: compuesta por una estructura ligera de aluminio aeroespacial, cuenta con sistemas de refuerzo en las áreas de impacto, así como un respaldo antivuelco. Cuenta también con un armazón triangular que porta rigidez y estabilidad al conjunto.

Se trata de una silla especializada para baloncesto [19].



Figura 90. Elite X [19]

Gran Slam: esta silla cuenta también con gran ligereza, junto con una estructura robusta y rígida. Está dotada también de protecciones y sujeciones para facilitar el desarrollo de la actividad deportiva.

Esta silla está diseñada especialmente para jugar al tenis [19].



Figura 91. Gran Slam [19]

- o Quickie

Como se ha dicho anteriormente, esta marca también ofrece sillas deportivas. A continuación, se muestran los modelos más populares de su catálogo, dentro del sector de sillas deportivas [20]:

Match Point: se trata de una silla de ruedas destinada a deportes de raqueta. Cuenta con un sistema de cinturones, así como un sistema de regulación del centro de gravedad, con el objetivo de proporcionar estabilidad y agilidad al usuario [20].



Figura 92. Match Point [20]

All Court: en este caso, se trata de una silla destinada al baloncesto, aunque las propiedades y prestaciones son parecidas al modelo anterior. Cuenta también con un sistema de ajuste del centro de gravedad y, su fabricación se basa en el aluminio aeroespacial [20].



Figura 93. All Court [20]

- Sillas de ruedas infantiles

Como su propio nombre indica, en esta sección se tratarán sillas de ruedas especializadas para un público infantil. De modo que las características y propiedades de este tipo de sillas tendrán que adaptarse al público objetivo en cuanto a dimensiones, pesos, etc.

A continuación, se muestran algunos modelos de este tipo de sillas:

- o Zippie

Esta compañía desarrolla productos ortopédicos para niños, entre ellos las sillas de ruedas. Seguidamente, se muestran los modelos más populares de su catálogo, dentro del sector de sillas infantiles [21]:

Simba: se trata de una silla rígida de aluminio, ligera y ajustable al crecimiento. Generalmente las sillas de ruedas suelen ser un producto caro, de modo que la adaptabilidad al crecimiento es un punto muy importante en el diseño de este tipo de sillas [21].



Figura 94. Simba [21]

Youngster 3: se trata también de una silla ligera y ajustable al crecimiento. Las características son muy parecidas al modelo anterior, pero de una gama menor, de modo que es más económica [21].



Figura 95. Youngster 3 [21]

- **Sillas de ruedas estándar**

Finalmente, se presentan las sillas de ruedas comunes, siguen cumpliendo su función, pero no tienen ninguna característica distintiva.

A continuación, se muestran algunos modelos de este tipo de sillas:

o Breezy

Esta marca se dedica al diseño y fabricación de productos ortopédicos, en este caso se hará foco en las sillas de ruedas estándar [21]:

RubiX2: esta silla incorpora múltiples posibilidades de ajuste y adaptaciones, permitiendo la regulación de un gran número de parámetros, tales como la profundidad, la altura y el ángulo del asiento. Se trata de una silla simple pero muy funcional [21].



Figura 96. RubiX2 [21]

Style: se trata de una silla plegable, con características similares al modelo anterior, ya que también permite la adaptación de ciertos parámetros, para una mejor adaptabilidad del usuario. Cabe destacar que se trata de una gama inferior, comparada con el modelo anterior [21].



Figura 97. Style [21]

Una vez analizadas las principales marcas y modelos de sillas convencionales, es momento de analizar los modelos que se ofrecen pertenecientes a la otra gran familia de sillas de ruedas, las sillas de ruedas motorizadas.

Sillas de ruedas motorizadas

La principal característica de este tipo de sillas, como su propio nombre indica, es que disponen de un motor, generalmente eléctrico, que dota de movimiento a la silla. Disponen también de una consola de control donde se puede regular la velocidad y dirección del conjunto mediante un joystick.

Generalmente, este tipo de sillas están destinadas a usuario con una movilidad muy reducida, incapaces de propulsar la silla mediante el giro de las ruedas traseras.

A continuación, se muestran los diferentes modelos y subgrupos de este tipo de sillas de ruedas:

- **Sillas de ruedas motorizadas estándar**

Se trata de las sillas más corrientes, cumplen la función principal de aportar movilidad a sus usuarios, pero no cuentan con ninguna característica especial.

A continuación, se muestran algunos modelos de este tipo de sillas:

- o Quickie

Mencionada en apartados anteriores, Quickie también desarrolla sillas de ruedas motorizadas. Se puede ver que tiene impacto en gran parte del sector de las sillas de ruedas [20].

Q700 F Sedeo Ergo: se trata de una silla de alta gama, con tracción delantera y suspensión en las 4 ruedas. Diseñada tanto para uso interior como exterior, cuenta con controles personalizables que hacen de la conducción una experiencia más fácil [20].



Figura 98. Q700 F Sedeo Ergo [20]

Tango: en este caso, se trata de una silla de ruedas más sencilla, de una gama menor al modelo anterior. Cuenta con tracción trasera y suspensión, diseñada para exteriores. Sin embargo, ofrece una gran adaptabilidad en cuanto a la regulación de sus dimensiones [20].



Figura 99. Tango [20]

- **Sillas de ruedas motorizadas todoterreno**

Este tipo de sillas están diseñadas especialmente para exteriores. En su diseño integran las características necesarias para maniobrar en terrenos irregulares y sobre casi cualquier tipo de superficie.

A continuación, se muestran algunos modelos de este tipo de sillas:

o **Magic Mobility**

Esta compañía australiana, se dedica al diseño y fabricación de sillas de ruedas motorizadas todoterreno, queriendo transmitir el espíritu salvaje australiano a sus productos [22].

Frontier V6: este modelo de silla cuenta con tracción central, proporcionando una base estable que se adapta a cualquier tipo de terreno perfectamente y, la hace manejable en interiores [22].



Figura 100. Frontier V6 [22]

Extreme X8: la característica especial de esta silla de ruedas reside en sus potentes motores y ruedas de gran diámetro, que no ponen límites en cuanto a terrenos y superficies exteriores. Pero la hace incomoda cuando se trata de interiores [22].



Figura 101. Extreme X8 [22]

- Sillas de ruedas motorizadas infantiles

Como viene siendo tónica, también existen modelos de este tipo de sillas especializadas en un público infantil. De modo que las características y propiedades tendrán que adaptarse a las necesidades de este público.

A continuación, se muestran algunos modelos de este tipo de sillas:

- o Zippie

Esta compañía mencionada en apartados anteriores se centra el diseño y fabricación de productos ortopédicos infantiles y, entre ellos se encuentran las sillas de ruedas motorizadas [21].

Salsa M2: debido a la disposición de las ruedas de este modelo, el radio de giro ofrecido es muy reducido, permitiendo al usuario desenvolverse perfectamente en espacios interiores. Cuenta también una altura mínima ajustable que tiene la posibilidad de crecer con el niño [21].



Figura 103. Salsa M2 [21]

Salsa R²: este modelo está más enfocado a exteriores, aunque también es funcional en espacios cerrados. Cuenta con un diseño compacto con ruedas de grandes dimensiones que garantizan un gran rendimiento a la silla en cualquier escenario [21].



Figura 102. Salsa R² [21]

Una vez analizados los principales tipos y modelos de sillas de ruedas que ofrece el mercado, es momento de analizar que accesorios y complementos se ofrecen, ya que el producto a desarrollar se trata de un cojín, que es un complemento de una silla de ruedas.

Accesorios y complementos

Los accesorios y complementos disponibles para sillas de ruedas son muy diversos y variados. Existen desde paraguas hasta mesas, pasando por artículos como chubasqueros o mochilas, pero este apartado hará foco sobre los cojines y protectores de respaldo, culo y reposabrazos de la silla que, al fin y al cabo, son los accesorios que más relación tienen con el cojín sensorizado que se quiere desarrollar.

Ubiotex es una compañía que posee el gran grosor de accesorios ortopédicos. A continuación, se mostrarán los artículos ofrecidos por esta marca que tienen relación o parecido con el producto a desarrollar:

- **Protector de respaldo**

Se trata de un cojín con propiedades antiescara y antialérgicas, que tiene como objetivo aportar confort al usuario. Suele estar fabricado a base de poliéster y poliuretano y, en gamas más elevadas cuenta con tecnología viscoelástica.

Dicho cojín se sitúa en el respaldo de la silla en cuestión y se sujeta mediante tiras con velcro o anudadas a los tubos de la estructura de la misma. Las dimensiones suelen ser estándar y, son adaptables a cualquier tipo de sillas destinadas a adultos.



Figura 104. Protector de respaldo [23]

Existen diversos modelos que presentan las mismas características, pero se añade una capa extra de tejido con funciones estéticas y de mejora al tacto [23].

- Protector lateral

La idea es la misma que la planteada en el artículo anterior, se trata de un par de cojines con propiedades antiescara y antialérgicas, que tienen como objetivo evitar golpes contra los reposabrazos por parte del usuario, aparte de aportar cierto confort en cuanto a las zonas laterales. Como en el artículo anterior, los materiales usados para su fabricación también son poliéster y poliuretano.



Figura 105. Protector lateral [23]

En este caso, los cojines se sitúan a los laterales de la silla, por la parte interior y, el sistema de sujeción es el mismo que el planteado en el caso anterior, mediante velcro o nudos a los tubos estructurales de la silla. Las dimensiones también están estandarizadas y en general, también son adaptables a cualquier tipo de silla destinada a adultos [23].

- Cubresillas

En este caso, el producto viene a ser el resultado de la unión de los artículos anteriores, junto con otro cojín para el culo de la silla.

Los materiales usados también siguen la misma tónica, poliéster y poliuretano. Se pueden encontrar gamas más altas que cuentan con zonas viscoelásticas.

Como en los casos anteriores, se une a la silla mediante velcros o nudos a los tubos estructurales de la misma. Al ser un artículo de dimensiones mayores, debe haber más sujeciones, ya que el cubresillas ocupa todas las superficies de apoyo de la silla [23].



Figura 106. Cubresillas [23]

Otra compañía que ofrece un producto muy interesante, que guarda relación con los accesorios y complementos para las sillas de ruedas, es Núbolo de OKM Química Ortopédica.

Es una empresa que tiene un largo recorrido en el mundo de la ortopedia y, concretamente en los accesorios de la silla de ruedas, que han presentado un cojín inteligente diseñado para evitar las lesiones por úlceras en los usuarios de sillas de ruedas.

El funcionamiento de dicho cojín inteligente consiste en un cojín formado por diversas celdas de aire dinámico, que tienen la capacidad de hincharse o deshincharse al gusto del usuario, favoreciendo de este modo la circulación sanguínea y, proporcionando un masaje en las zonas de más riesgo.

Existen 3 modelos del cojín según el nivel de riesgo de padecer úlceras del usuario:

- Núbolo Cell

Este modelo está pensado para un público con un bajo riesgo de padecer úlceras. El cojín está dividido en 4 zonas diferenciadas y, mediante una bomba manual con manómetro, se puede variar la presión de las celdas de cada zona, según las preferencias y/o necesidades del usuario.

Las celdas son de fácil recambio y, tiene la posibilidad de adaptarse a modelos de gamas más elevadas [24].



Figura 107. Núbolo Cell [24]

- Núbolo Pro

Este modelo está pensado para un público con un nivel bajo-medio de riesgo de padecer úlceras. A diferencia del modelo anterior, cuenta con una unidad de control integrada, que permite el control de la bomba que regula la presión mediante una aplicación móvil.

Como en el modelo anterior, también cuenta con 4 zonas diferenciadas y, las celdas son de fácil recambio [24].



Figura 108. Núbolo Pro [24]

- Núbolo Med

Este modelo está pensado para un público con un nivel medio-alto de riesgo de padecer úlceras. En este caso, la unidad de control es externa, permitiendo una mayor personalización del funcionamiento ya que se puede programar. También es posible su manejo mediante una aplicación móvil.

A diferencia de los casos anteriores, este cojín cuenta con 8 zonas diferenciadas, permitiendo más precisión en el desarrollo de su funcionamiento. Como en todos los modelos, las celdas también son de fácil recambio [24].



Figura 109. Núbolo Med [24]

Mapa de competidores

Después de estudiar los productos más populares en el sector de las sillas de ruedas, tanto referente a las sillas mismas, como a sus complementos y accesorios, se puede sacar distintas conclusiones.

Se ha visto que existen muchos tipos de sillas de ruedas y que, cada una de ellas tiene un punto fuerte o una característica que la hace diferenciarse de las otras. A pesar de esto, también es importante ver que existen puntos en común entre ellas que pueden causar un impacto en el diseño y desarrollo del cojín sensorizado.

Uno de estos puntos es la versatilidad que ofrecen en cuanto a dimensiones y adaptabilidad al usuario, ya que la gran mayoría de modelos estudiados se diseñan a medida para el usuario. Este punto será deberá tenerse en cuenta en el momento del dimensionado del cojín sensorizado.

Al tratarse de un producto de precio elevado, es lógico que ofrezcan una personalización elevada para que el producto sea lo más confortable y longevo posible.

Como justo se acaba de introducir, las sillas tienen un precio elevado como norma general. A pesar de esto, es cierto que hay gamas más elevadas y otras más sencillas, que hacen que el precio varíe.

Así pues, quedan definidas las dos variables comunes en todas las sillas: la versatilidad, tanto en el ámbito de personalización como en cuanto a variedad de uso y, el precio.

En este apartado se llevará a cabo un diagrama donde se situarán los modelos de sillas de ruedas estudiados en función de sus características y prestaciones. En el eje horizontal se cuantifica el nivel de versatilidad, teniendo en cuenta tanto la personalización como limitaciones de uso en cuanto a terreno, peso, etc. Yendo desde productos con una personalización elevada y alta capacidad de uso, has productos poco personalizables y con ciertas limitaciones de uso.

En el eje vertical, se evaluará el precio de cada uno de los modelos estudiados; desde los más económicos hasta las gamas más altas que presentan precios más elevados.

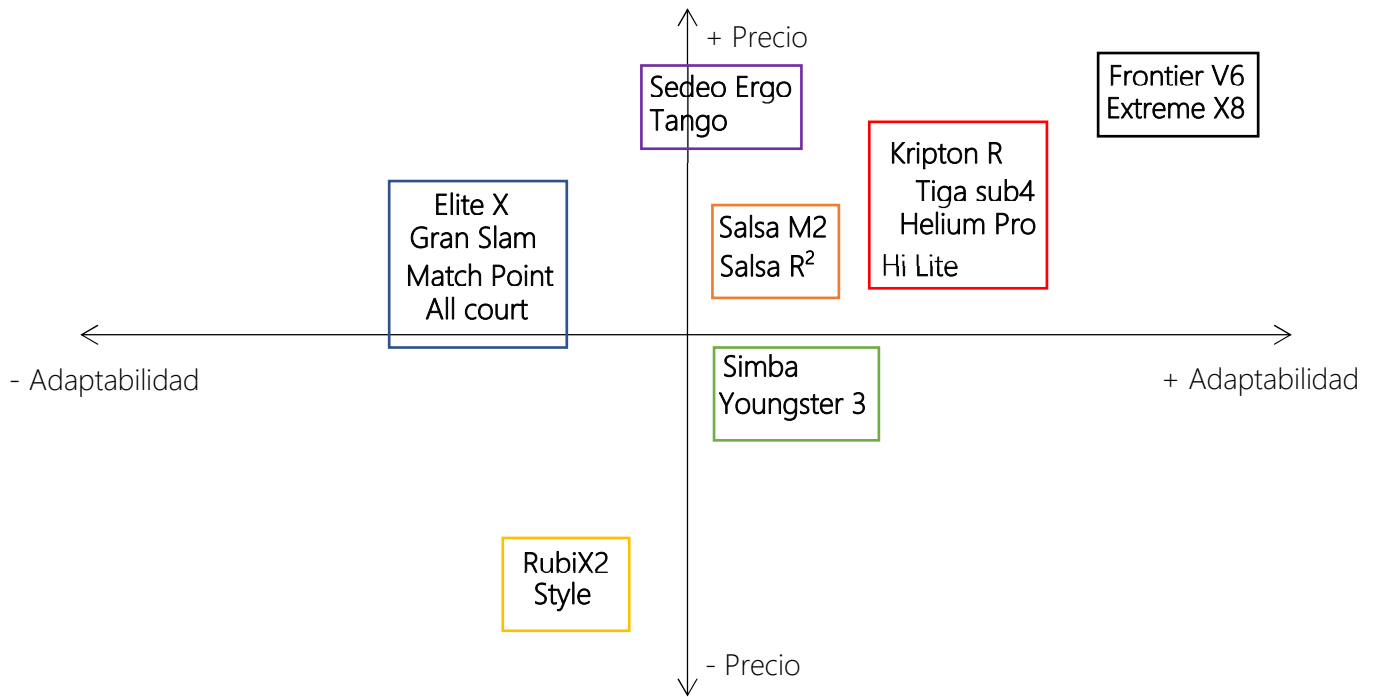


Figura 110. Mapa de competidores de las sillas de ruedas

Una vez finalizado el diagrama, la situación queda de la siguiente manera:

- Los modelos encuadrados en azul, corresponden al grupo de sillas deportivas. Su nivel de adaptabilidad es bajo porque si bien son personalizables, están diseñadas para desarrollar un deporte de modo que no se trata de sillas con una gran versatilidad. A pesar de esto, no tienen un precio muy elevado comparadas con otros modelos
- Los modelos encuadrados en amarillo, corresponden al grupo de sillas de ruedas estándar. Se trata de las sillas más simples de modo que la adaptabilidad no es muy destacable, aunque cuentan con el menor precio de todos.
- Los modelos encuadrados en morado, corresponden al grupo de las sillas de ruedas motorizadas estándar. Proporcionan una adaptabilidad media, pero el hecho de ser motorizadas aumenta considerablemente su precio.
- Los modelos encuadrados en naranja, corresponden al grupo de sillas motorizadas infantiles. Proporcionan un nivel de adaptabilidad moderado, ya que la silla crece con el usuario, pero el precio es elevado debido a la motorización que incorporan.
- Los modelos encuadrados en verde, corresponden al grupo de sillas infantiles. Como en el caso anterior, el nivel de adaptabilidad es moderado, ya que la silla también

crece con el niño, pero el precio se ve reducido porque no se trata de sillas motorizadas.

- Los modelos encuadrados en rojo, corresponden al grupo de las sillas ligeras. Presentan una adaptabilidad elevada; debido a su diseño y fabricación son adecuadas tanto en exteriores como en interiores, pero la contrapartida es el precio, que también es ligeramente elevado.
- Los modelos encuadrados en negro, corresponden al grupo de las sillas motorizadas todoterreno. Son el grupo que presenta una adaptabilidad máxima, ya que pueden funcionar en casi cualquier escenario. Al tratarse de una silla tan compleja, inevitablemente el precio también es el más elevado.

Una vez situados los competidores en el campo de las sillas de ruedas, es necesario repetir el proceso para los accesorios y complementos. En este caso, los aspectos a comparar serán, de nuevo el precio y, la funcionalidad, es decir qué tan útil es el artículo en cuestión.

El diagrama sitúa el precio en el eje vertical, yendo de menor a mayor precio y, la funcionalidad en el eje horizontal, yendo de menor a mayor funcional:

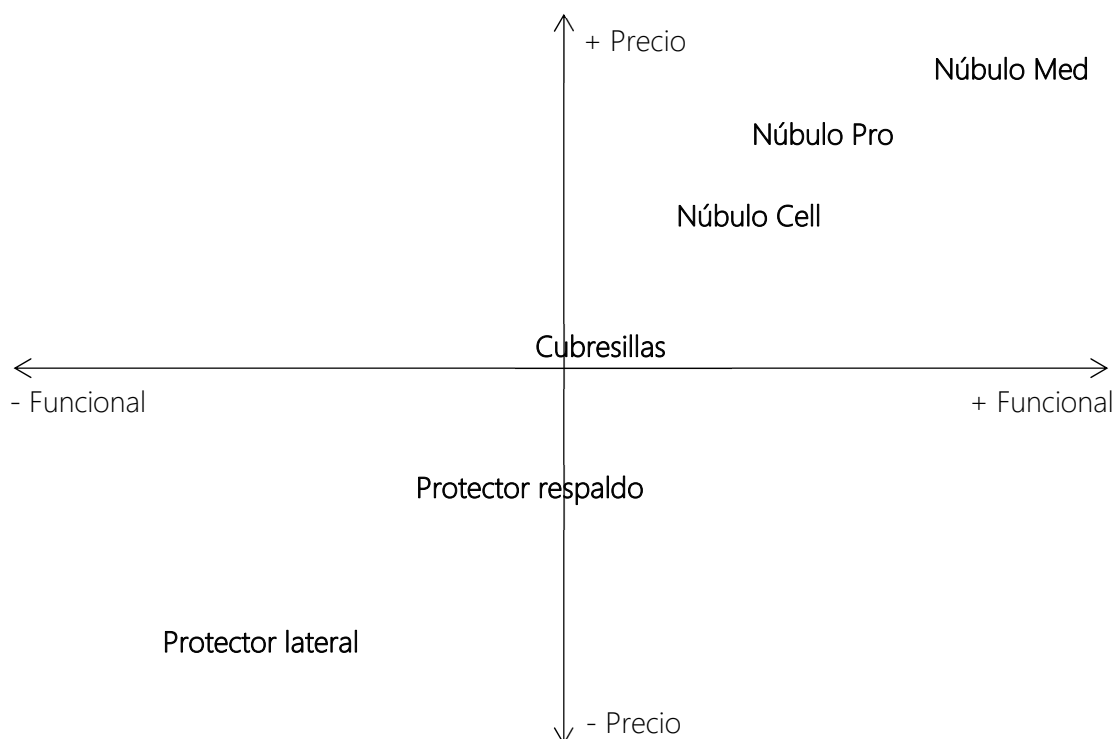


Figura 111. Mapa de competidores de los accesorios y complementos

Una vez finalizado el diagrama la situación queda de la siguiente manera:

- El protector lateral se sitúa como accesorio menos funcional, ya que la mayoría de sillas están diseñadas para no entorpecer con el movimiento de los brazos y, tampoco aporta un gran confort extra. Pero a su vez, también presenta el precio más bajo.
- El protector de respaldo, gana en funcionalidad, ya que aporta confort al usuario, pero al tratarse de un elemento de mayores dimensiones, el precio también aumenta.
- El cubresillas es el elemento más polivalente de Ubiotex, ya que aporta confort y protección en todos los aspectos porque se trata de una unión de todos los accesorios anteriores. En cuanto a precio, es el complemento más caro de entre estos, debido a sus dimensiones.
- Núbulo Cell, es el producto más barato de los de su estirpe, a pesar de esto, cuenta con una funcionalidad superior a los productos anteriores.
- Núbulo Pro, se sitúa por encima de Núbulo Cell en todos los aspectos. Tiene un mayor precio, pero la funcionalidad también es superior, debido a la tecnología que incorpora.
- Finalmente, Núbulo Med, es el producto más funcional de todos los estudiados, pero la tecnología que aporta dicha funcionalidad tiene un precio, de modo que también se sitúa como el producto más caro de todos.

Stakeholders

El concepto de stakeholders ya se ha tratado anteriormente, se trata de las organizaciones o personas que se ven afectadas por el impacto causado por un producto.

En el caso del cojín sensorizado, el más obvio de los stakeholders es el cliente, la persona que va a recibir el producto diseñado. Se trata de un sector de la población muy específico, los usuarios de sillas de ruedas.

Otro stakeholder son las tiendas o superficies donde se comercializará el producto diseñado, si es que el producto tiene un enfoque comercial de tienda física, ya que cabe la posibilidad de comercializarse por internet.

Finalmente, también se ven afectadas todas las empresas encargadas de fabricación del producto final. Al tratarse de un artículo que combina tecnología textil y tecnología electrónica, hay que tener en cuenta las empresas que fabrican el relleno del cojín, las empresas de tejeduría encargadas de la fabricación de la tela envolvente, así como otras partes del cojín, como el sistema de sujeción, que pertenecen a la industria textil.

Por la vertiente electrónica, hay que considerar las empresas productoras de microprocesadores y elementos electrónicos, así como el cableado, los desarrolladores de aplicaciones móviles, en caso que se desee implementar un sistema de control mediante una app y, finalmente, hay que tener en cuenta el sistema de alimentación de todo el conjunto, ya que también tendrá influencia sobre las empresas fabricantes de dinamos o similares.

Tendencias

El sector de las sillas de ruedas ha evolucionado mucho en los últimos años, gracias a la mejora de los materiales, así como de las técnicas de producción. Se han podido desarrollar sillas menos aparatosas, más ligeras y más manejables, hasta llegar al punto de las sillas motorizadas todoterreno, que permiten al usuario poder desplazarse sobre cualquier tipo de superficie, hecho que hace unos años era totalmente imposible.

También se han modificado las sillas para obtener una mayor autonomía de sus usuarios. La autonomía es un concepto muy preciado para este sector de la población, de modo que supone un gran valor en una silla de ruedas.

Así pues, las dos principales tendencias hacia donde se avanza en este campo han quedado definidas, se trata de la libertad de movimiento y la autonomía, conceptos que pueden ir de la mano en según qué situaciones.

Para mejorar la libertad de movimiento se ha optado por fabricar sillas más ligeras y versátiles, que no suponga un sobreesfuerzo para el usuario poder conducir las. Este punto se ha conseguido mediante la optimización del armazón o estructura de la silla y, mediante la aplicación y uso de nuevos materiales mucho más ligeros pero que aportan las mismas garantías estructurales, algunos ejemplos pueden ser el titanio o el aluminio aeroespacial.

Ligado con la optimización del diseño y los materiales, se encuentra la autonomía. Un mejor diseño permite al usuario superar retos y escenarios sin ayuda de terceros. En el caso de las sillas motorizadas, la optimización de las baterías permite al usuario poder recorrer distancias más largas sin tener que cargar las baterías de la silla.

Siguiendo con las sillas motorizadas, los motores también han experimentado mejoras, surgiendo motores más potentes que pueden obtener mayor velocidad y mayor tracción, de modo que se pueden adaptar a casi cualquier escenario que se plantee.

En cuanto a los accesorios y complementos, se puede ver una clara tendencia a la adición de nuevas características que aportan mucho valor para el usuario. Se ha partido de cojines muy simples y, se ha llegado a cojines que incorporan tecnología de aire dinámico para proporcionar beneficios y, prevención de úlceras a sus usuarios.

Estudio de patentes

Es importante revisar las patentes existentes, con el objetivo de identificar productos parecidos o bien que usen una tecnología parecida a la utilizada en el cojín sensorizado que se quiere desarrollar.

Por este motivo, las patentes estudiadas se centrarán en cojines que incorporen sensores de presión:

- US6386201B1

Se ha diseñado un aparato para prevenir los ronquidos basado en una almohada dividida internamente en cámaras de aire separadas, que incorporan diversos tipos de sensores de sonido, de presión y fuentes de presión de aire.

Al detectar el ronquido mediante el sensor de sonido, se activa el sistema de sensores de presión que determinan la postura y posición de la cabeza del usuario en la almohada.

Mediante la fuente de presión de aire, se puede hinchar o deshinchar ciertas zonas del cojín para que la posición de la cabeza del usuario varíe, parando de este modo el ronquido [25].

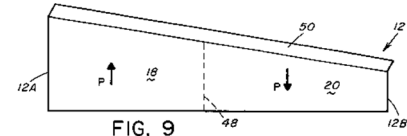
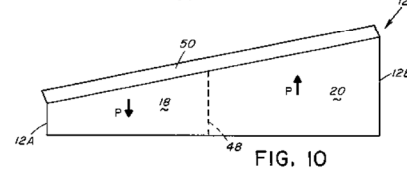
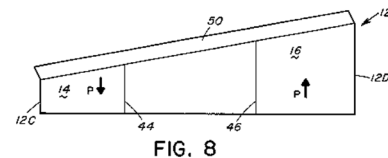
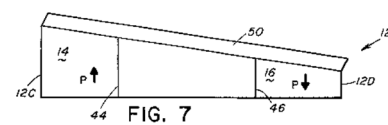
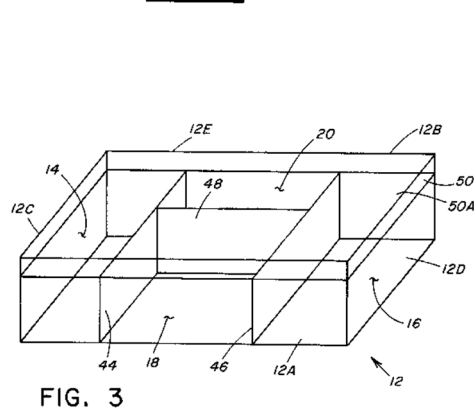
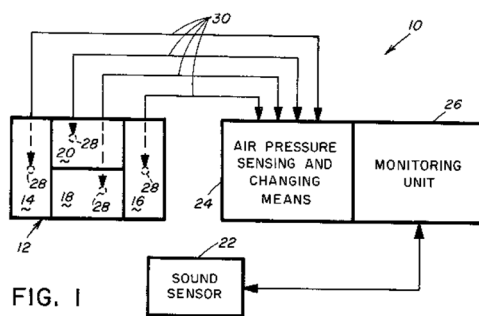


Figura 112. Patente de un artículo que incorpora un sensor textil de presión [25]

- US6081949A

Se trata de un cojín que dispone de un despertador en su interior, junto con una pluralidad de sensores de presión separados adecuada y estratégicamente. La función de dichos sensores es detectar la falta de presión sobre la almohada para desactivar la alarma.

La almohada cuenta también con un visor del despertador para que sea fácilmente programable y accesible para el usuario [26].

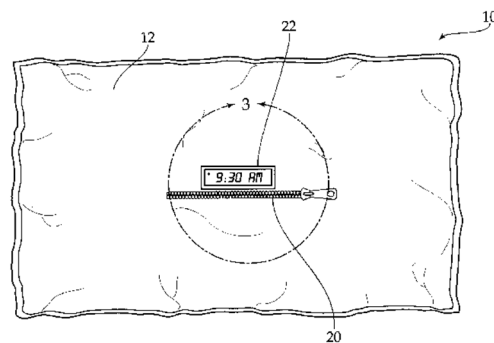


FIG. 1

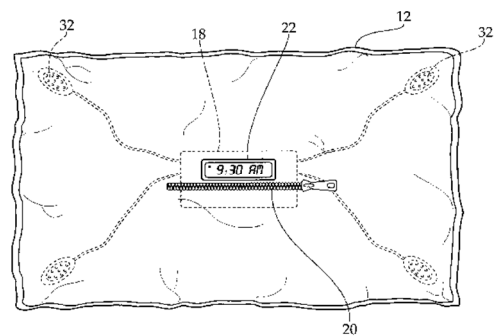


FIG. 2

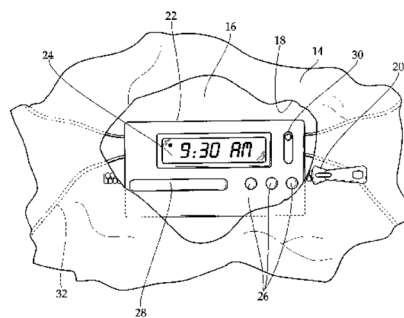


FIG. 3

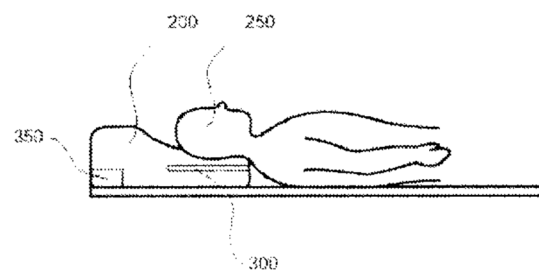
Figura 113. Patente de un artículo que incorpora un sensor textil de presión [26]

- US20100145167A1

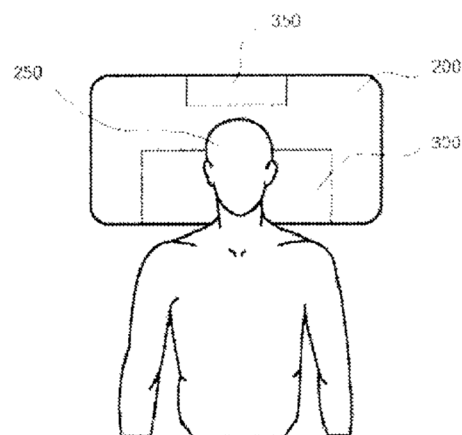
Se proporciona una almohada que dispone de un aparato para determinar el estado de sueño bajo una condición de no consciencia. Dicho aparato incluye un sensor de presión para detectar información fisiológica como el pulso, la respiración, movimiento corporal, bruxismo, etc.

Se recoge toda esta información para analizarla y poder proveer al usuario de resultados acerca de su estado del sueño [27].

[FIG. 1a]



[FIG. 1b]



[FIG. 1c]

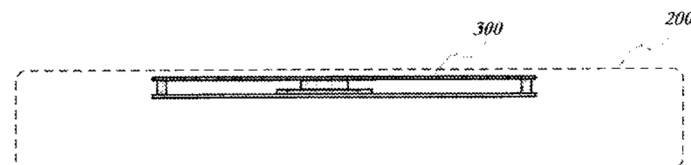


Figura 114. Patente de un artículo que incorpora un sensor textil de presión [27]

- US7567181B1

Se trata de un dispositivo aplicado a una silla de coche para niños. Mediante el injerto de sensores, se puede dar información acerca de la ocupación de la silla, así como temperatura y posición. También es capaz de detectar vibraciones cercanas.

Se provee una visualización de las funciones operativas del aparato [28].

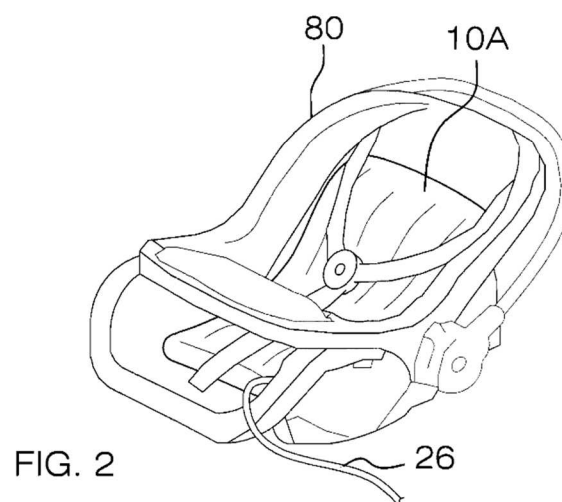
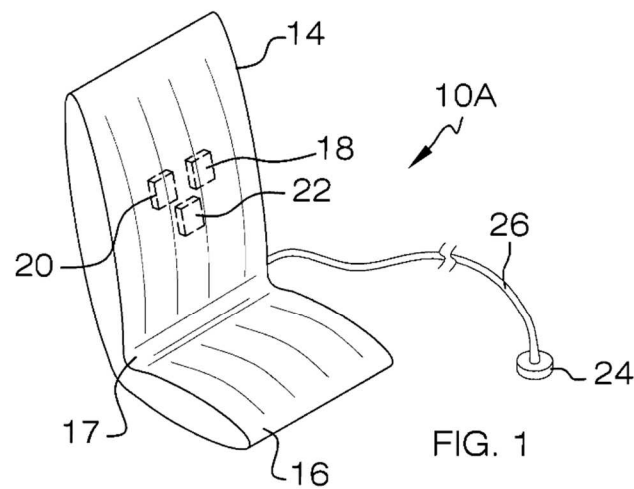


Figura 115. Patente de un artículo que incorpora un sensor textil de presión [28]

Conclusiones

Una vez realizada toda la investigación de mercado específico del sector donde se encuentra el cojín sensorizado es momento de sacar las conclusiones necesarias para acotar el diseño del producto final.

Es necesario abordar los tres puntos principales que conciernen al diseño del cojín; la existencia de productos similares, las dimensiones y la ergonomía.

En cuanto a producto similares, se ha visto que existen multitud de cojines y protectores para sillas de ruedas, pero no existe la parte de sensorización aplicada en este campo, que al fin y al cabo es el valor que se le añade al producto.

En cuanto a las dimensiones, es cierto que la gran mayoría de sillas ofrecen una alta personalización en cuanto a las dimensiones del culo asiento, pero todas se mueven dentro de unos rangos muy estandarizados y estudiados, de modo que puede ser fácil elaborar un diseño que se adapte a una gran cantidad de modelos. Otra solución sería la creación de tallaje del cojín, es decir, fabricar diversas tallas del mismo cojín con el objetivo de llegar a todos o a la gran mayoría de públicos.

Para el respaldo, el escenario varía, ya que no existen patrones tan firmes que se puedan seguir para el diseño de un cojín para esta superficie, en cuanto a dimensiones. De modo que será necesario estudiar si es posible la estandarización de estas dimensiones o no.

A pesar de este dato, no hace falta centrarse en el diseño de un cojín solo para un modelo de silla en concreto, sino que es posible diseñar un cojín que sirva para muchos modelos, bien sea ciñéndose a los estudios de dimensiones estandarizadas o bien por la elaboración de tallas, en cuanto a los cojines para el culo de dichas sillas.

Por último, la ergonomía. Se ha podido ver que la gran mayoría de sillas cuentan con asientos ergonómicos y, la mejor tecnología para el respaldo y culo de la silla. Esto presenta una oportunidad, ya que se puede diseñar un producto más simple, al no tener que incorporar volúmenes ergonómicos a la geometría del cojín y, poder centrarse más en la integración del sensor, que al final es el punto importante del cojín.

Así pues y para finalizar este apartado, es importante mencionar que cabe estudiar las dimensiones adecuadas del cojín para que se pueda adaptar al mayor número posible de

sillas y, se ha visto que la ergonomía no es tan importante, de modo que se puede diseñar un cojín más fino y simple, facilitando la fase de diseño del producto.

Normativa

En cualquier proyecto debe haber un estudio de la normativa que hace referencia al campo de aplicación del producto diseñado. En este caso, como se viene mencionando en otros apartados, el sector normativo corresponde a las sillas de ruedas, aunque también se repasará la normativa referente a mobiliario.

En cuanto a las sillas de ruedas, las normas que rigen este sector son la UNE-EN 12183:2014 y la 12182:2012. Dentro de la vasta extensión de estas normativas, las referencias encontradas a un cojín sensorizado tienen que ver con los artículos textiles y tapizados incorporados a las sillas.

Y se hace foco básicamente en 3 puntos: la ignición del material, la temperatura y la compatibilidad electromagnética.

En cuanto a la ignición, se dice que las partes tapizadas deben ser resistentes a la ignición, bien sea por un cigarrillo o por una llama pequeña. El producto no debe combustionar lentamente ni con llama. Se deben seguir los ensayos descritos en las normas EN 1021-1 y EN 1021-2.

Referente a las partes esponjosas (cuerpo del cojín), las especificaciones son las mismas, no debe combustionar lentamente ni con llama y, los ensayos a seguir son los descritos en las mismas normas anteriores, la EN 1021-1 y EN 1021-2.

En estas normas se describe el ensayo a realizar. Se trata básicamente de aproximar y hacer contacto con un cigarrillo encendido en las superficies textiles a estudiar. Según como se queme, si se quema, se obtiene un resultado distinto.

El siguiente punto a tener en cuenta es la temperatura. La norma dictamina que las superficies de la silla de ruedas que estén o puedan estar en contacto directo con la piel de usuario y/o, asistente del mismo, deben cumplir las especificaciones descritas en la norma EN ISO 13732-1.

En general, los textiles usados en indumentaria no son buenos conductores térmicos, de modo que el producto se encuentra en una zona de bajo riesgo de llegar al umbral de quemadura.

Finalmente, la compatibilidad electromagnética. La literatura dictamina que si el producto contenga dispositivos o componentes eléctricos o electrónicos debe ceñirse a la norma EN 60601-1-2. A parte, el equipo debe respetar los límites de emisiones irradiadas y, obviamente, no suponer un peligro para el usuario.

Una vez repasadas las normativas que hacen referencia al cojín sensorizado en el contexto de las sillas de ruedas se pueden sacar diversas conclusiones.

En primer lugar, sería interesante dotar al material textil de recubrimiento del cojín con un acabado ignífugo, de modo que se solventarían los problemas legislativos en cuanto a la ignición del material.

Referente a la temperatura, como ya se ha dicho anteriormente, los materiales textiles no suelen ser buenos conductores térmicos, de modo que no hay peligro de quemadura por transmisión de calor.

Finalmente, será necesario estudiar que efecto electromagnético tienen los componentes electrónicos y eléctricos del sistema del sensor sobre el usuario y, ver si se cumplen los mínimos establecidos por las normas estudiadas.

Así pues, se ha visto que no existen grandes limitaciones de diseño ocasionadas por las normativas y legislaciones a seguir, ya que los propios materiales utilizados no suponen un peligro y, en caso de suponerlo, se puede minimizar el riesgo mediante métodos sencillos.

Estudio ergonómico

Llegados a esta fase del desarrollo del producto, es necesario realizar un estudio ergonómico. Si bien es cierto que en apartados anteriores se ha dictaminado que la ergonomía no era un punto a tener en cuenta, en cuanto a los volúmenes y geometrías del cojín, ya que la mayoría de sillas de ruedas poseen dicha propiedad, es indispensable realizar este tipo de estudio para determinar las dimensiones del cojín, así como para determinar el posicionamiento de los sensores que lo integran.

De este modo, quedan definidos los dos apartados de los que constará esta sección, las dimensiones generales del cojín y, el posicionamiento de los sensores.

Antes de empezar con los apartados, es importante dar una definición genérica de la ergonomía, para contextualizar el contenido de esta sección. La ergonomía es el estudio de la adaptación del acondicionamiento del entorno, bien sea un vehículo, un lugar de trabajo, etc. teniendo en cuenta las características fisiológicas del usuario.

Dimensiones

Como se ha mencionado anteriormente, la mayoría de sillas de ruedas existentes en el mercado actual cuentan con una gran personalización en cuanto a las dimensiones del culo de la silla, con el objetivo de aportar el mayor confort posible a sus usuarios. Pero no siguen ningún patrón con las dimensiones del respaldo ya que, según el usuario y la finalidad de la silla, éste variará en un rango muy elevado. De este modo, se centrará el diseño en un cojín para el culo de la silla, descartando el respaldo.

Se especuló con dos posibles soluciones para las distintas dimensiones que pueden adoptar dichos cojines. Por una parte, se trató la idea de realizar un cojín con dimensiones estandarizadas que pudiera satisfacer al mayor número de usuarios posible. Por otra parte, se planteó la idea de introducir tallas en la silla para llegar también a un máximo número de usuarios y, que el cojín pudiera adaptarse mejor a cada uno de ellos.

Sea cual sea la solución final, es necesaria la realización de esta parte del estudio ergonómico para determinar el rango de dimensiones sobre el que se terminará basando el producto final.

Para determinar las medidas de profundidad y anchura del culo de la silla es necesario abordar previamente dos puntos cruciales para el diseño: la o las dimensiones antropométricas a tener en cuenta para el diseño y, el alcance, en cuanto a público, del diseño.

Las dimensiones antropométricas son las diferentes longitudes que existen entre diferentes puntos de referencia dentro del cuerpo humano.

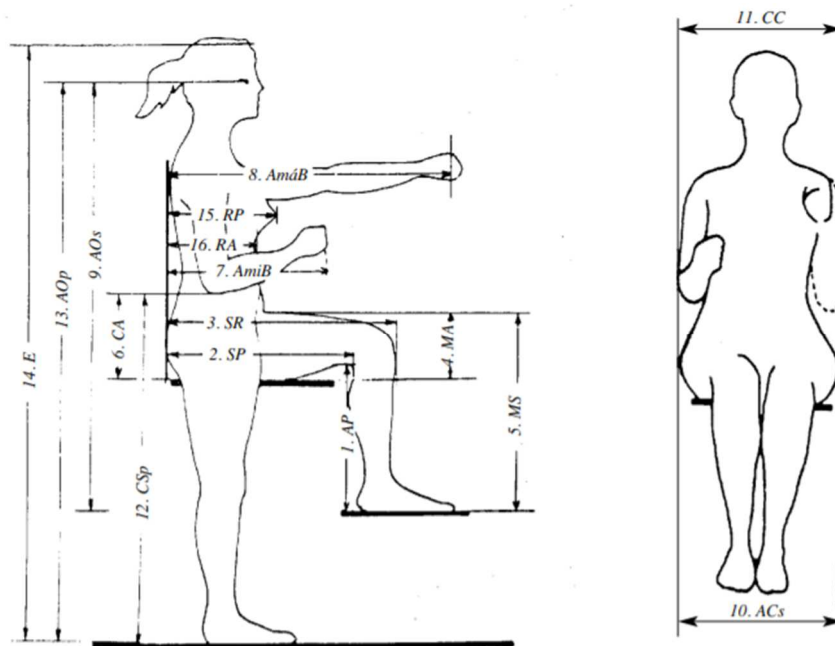


Figura 116. Dimensiones antropométricas [29]

En este caso, las medidas relevantes dentro de todo el conjunto son, por un lado la conocida como distancia sacro-poplítea (2.SP en la figura 116). Que viene a ser la distancia entre el sacro, un hueso situado al final de la columna vertebral entre los huesos ilíacos (caderas) y, la fosa poplítea, es decir, la parte trasera de la rodilla. Y por el otro lado, la conocida como anchura de caderas sentado (10.AC's en la figura 116), como el nombre bien indica, se trata de la anchura de las caderas.

Estas dos medidas son las que se toman para determinar las dimensiones del culo de una silla o un asiento, ya que son las que tienen relación con la parte del cuerpo que está en contacto con esta superficie.

En cuanto al alcance de diseño, se refiere a qué sector de la población podrá usar el producto según las medidas antropométricas tomadas. Es importante mencionar que todas las dimensiones antropométricas, llevadas a una escala poblacional, tienden a formar una

distribución normal, componiendo una curva de Gauss. Esta curva se puede dividir, desde el centro hacia los extremos, en diferentes estratos, denominados percentiles.

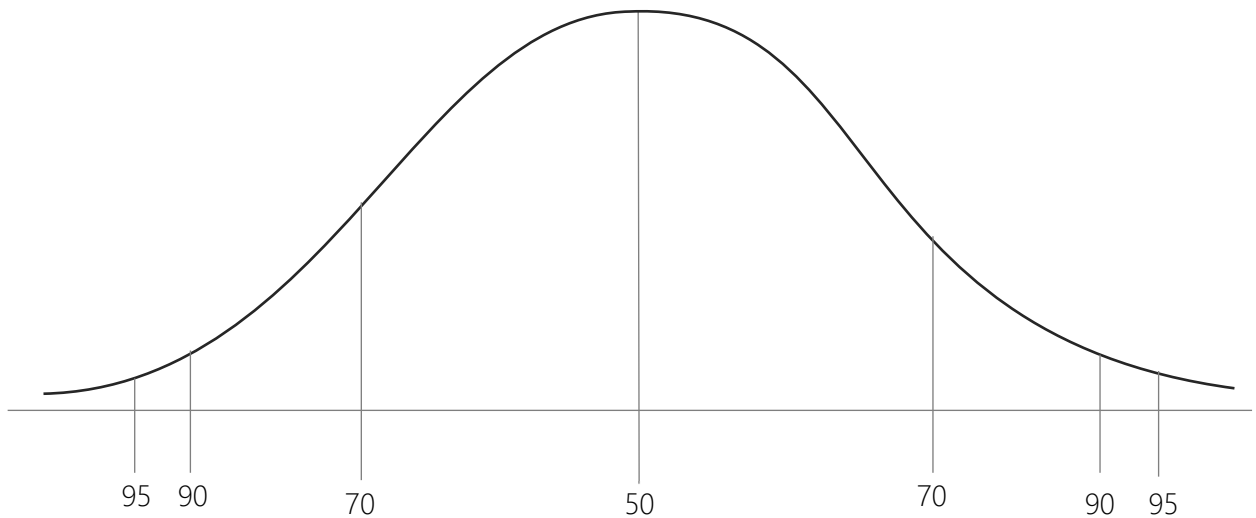


Figura 117. Curva normal

Así pues, según el percentil que se escoja, el producto será apto para cierto porcentaje de la población. A mayor percentil escogido para el diseño, mayor será el porcentaje de población para el que será apto.

Una vez definidos los dos conceptos que entran en juego para la determinación de las dimensiones del cojín, es momento de decidir para qué percentil se quiere diseñar y en consecuencia obtener las dimensiones adecuadas.

En general, se suelen coger percentiles elevados para llegar a la mayoría del público, siempre y cuando el diseño no se vea afectado catastróficamente. En este caso, se ha optado por trabajar sobre el percentil 95, de modo que el 95% de la población podrá hacer uso del producto diseñado, según los estudios realizados [29].

Se recuerda que se diseña para máximos, es decir que las dimensiones escogidas hacen referencia a las más grandes dentro del percentil elegido.

Las dimensiones que corresponden a los máximos de este percentil son las siguientes:

- La distancia sacro-poplítea es de 45 cm.
- La anchura de caderas sentado es de 50 cm.

Referente al espesor del cojín, como ya se ha dicho en apartados anteriores, deberá ser lo más reducido posible, siempre y cuando el diseño y los requerimientos del sensor lo permitan,

ya que las propias sillas cuentan con volúmenes y geometrías ergonómicas, de modo que es posible que el producto final se asemeje más a una manta que a un cojín. De todas formas, este aspecto se tratará en fases posteriores del diseño.

En el caso de que finalmente se opte por realizar un tallaje del cojín, es indispensable tomar otras medidas para limitar el límite inferior, ya que las mostradas anteriormente hacen referencia al límite superior. Para determinar el límite inferior solo hace falta analizar las dimensiones más pequeñas dentro del percentil estudiado, es decir, diseñar para mínimos.

Según este planteamiento las dimensiones mínimas dentro de este percentil son las siguientes:

- La distancia sacro-poplítea es de 40 cm.
- La anchura de caderas sentado es de 40 cm.

Una vez establecidos los máximos y los mínimos, se pueden realizar las tallas, donde la más grande corresponderá a las medidas del límite superior del percentil (45x50 cm), y la más pequeñas, corresponderá a las medidas del límite inferior del mismo percentil (40x40 cm). Las tallas intermedias, se obtienen a partir de las relaciones de proporción entre los dos límites.

De este modo, quedan definidas las dimensiones principales (anchura y profundidad) del cojín, quedando a la espera del valor del espesor según las necesidades de los sensores.

Posicionamiento de los sensores

La determinación del posicionamiento de los sensores es de vital importancia para el correcto funcionamiento del sistema. Localizar los sensores en la situación más óptima dentro del cojín dará la información necesaria para detectar malas posturas en el usuario.

Se recuerda que la detección de malas posturas viene dada por la comparación de las presiones recibidas en dos puntos alineados, situados simétricamente a lado y lado del eje principal del cojín.

Para obtener las lecturas adecuadas, es necesario situar los sensores en los puntos críticos del cojín, es decir, las secciones donde se aplicará más presión, ya que si esta presión no está equilibrada es cuando pueden surgir las complicaciones circulatorias y las úlceras, siempre y cuando dicha mala postura se prolongue en el tiempo.

Para poder identificar dichas zonas críticas se han revisado diversos estudios que dan información sobre la distribución de presiones en los asientos, así como diversos ensayos clínicos que dictaminan qué zonas del cuerpo son las que más sufren en cuanto a presión.

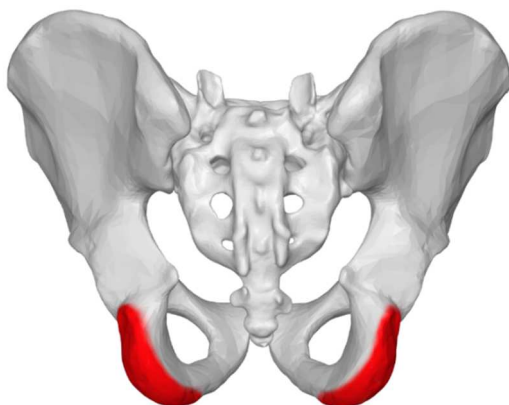


Figura 119. Tuberosidades isquiáticas [29]

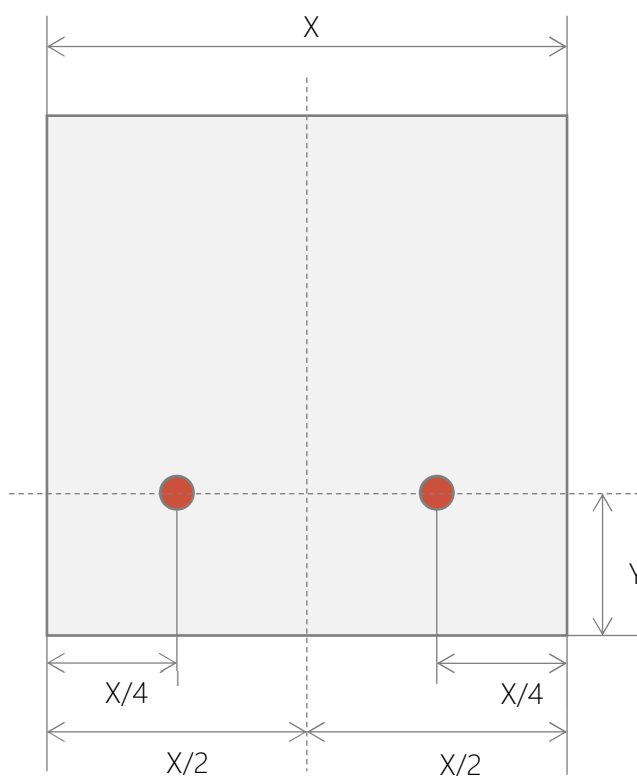


Figura 118. Esquema de la hipótesis de detección

La literatura analizada [29] muestra que la zona corporal que más presión recibe, en posición sentado, son las tuberosidades isquiáticas, un abultamiento óseo del isquion, situado en la parte inferior del hueso coxal.

De modo que si se identifica donde se sitúa esta parte del cuerpo sobre el cojín, se habrán localizado los puntos críticos de presión mencionados anteriormente.

Otros estudios de carácter más ingenieril confirman la hipótesis médica que se acaba de plantear. Para llevar a cabo dichos estudios se ha hecho uso de un artilugio parecido al producto que se quiere diseñar. Se trata de un equipo en formato de material delgado y flexible, capaz de desplegar un mapa topográfico y numérico de las presiones ejercidas sobre cada punto, mediante el uso de sensores repartidos sobre toda la extensión del equipo.

Mediante el uso de esta herramienta, se pueden generar diagramas que ilustran las distribuciones de presión en los asientos, quedando de este modo:

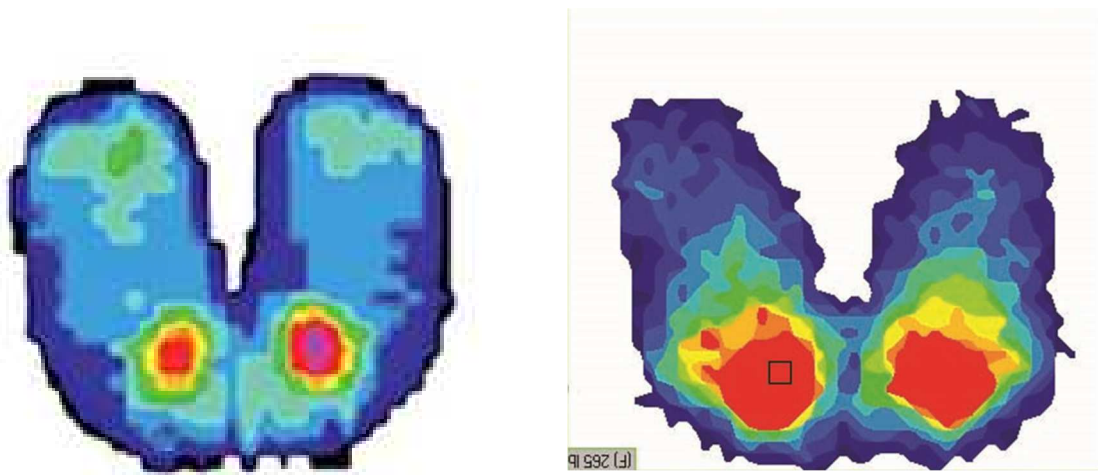


Figura 120. Distribución de presiones en una silla [30]

Las zonas coloreadas de color rojo son las que más presión reciben, coincidiendo con las tuberosidades isquiáticas.

A pesar de la dificultad de determinación de los puntos críticos de forma exacta, se ve claramente en los diagramas anteriores que se sitúan en la mitad inferior, respecto al eje principal horizontal, de la superficie de apoyo.

Como cada usuario tiene una configuración corpórea propia, es muy difícil definir los puntos exactos donde se apoyarán estos huesos para cada caso, de modo que, para solucionar este problema, se deben posicionar diversos sensores en las regiones que hipotéticamente se verán afectadas y, emparejarlos con su homólogo en el lado opuesto de la simetría para poder evaluar el estado de equilibrio de presiones en ambos puntos.

En el siguiente diagrama, se muestra de forma visual el funcionamiento que justo se acaba de plantear:

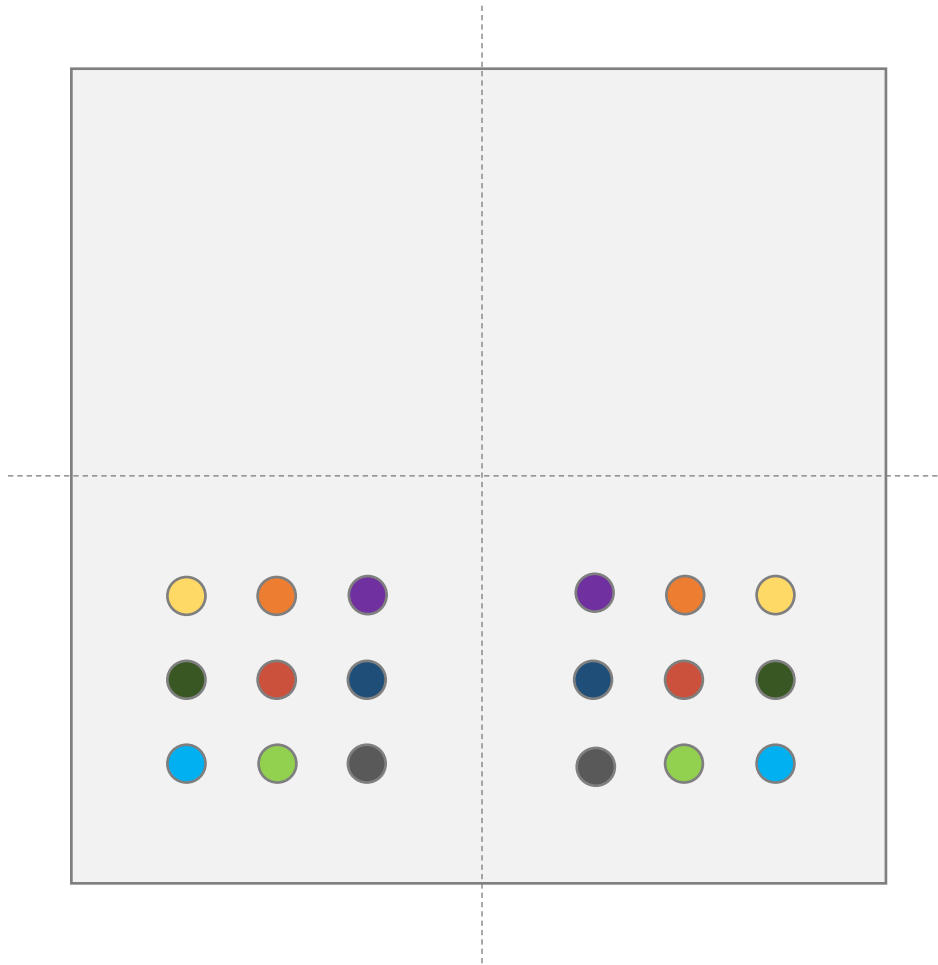


Figura 121. Esquema de la distribución de los sensores

Donde cada punto de color representa un sensor y, encuentra su homólogo situado simétricamente en el otro lado del eje vertical principal de la superficie. De este modo se puede evaluar el equilibrio de distintos puntos del cojín haciendo foco en las zonas críticas, ya que no tiene sentido evaluar la presión en zonas donde no supone ningún riesgo circulatorio o de úlcera.

Una vez determinada el área de trabajo de los sensores, ya se dispone de toda la información necesaria para plantear la distribución de los mismos en el producto final, así como también se dispone de la información necesaria para dimensionar el cojín de forma correcta.

Así pues, el siguiente paso en el desarrollo del producto consistirá en la definición final del cojín, donde se aplicarán los conceptos adquiridos durante este apartado.

Diseño definitivo

Una vez recopilada toda la información necesaria para poder desarrollar el diseño final del producto con rigor, ha llegado del momento de explicar y clarificar el concepto del producto, así como sus dimensiones finales, tanto del cojín como del sensor, con sus respectivas justificaciones. Pasado por los resultados obtenidos de diversas simulaciones de su funcionamiento y, finalizando con el estudio electrónico y textil relacionado con el producto.

De este modo, quedan definidos los apartados de los que constará esta sección: la definición del concepto, las dimensiones y justificaciones del producto y sus componentes, el análisis de resultados de las simulaciones realizadas, el estudio de la electrónica del producto y finalmente, el estudio textil correspondiente.

Definición del concepto

Como ya se ha venido diciendo desde apartados anteriores, el producto se trata de un cojín fino sensorizado diseñado para ser colocado en el culo de cualquier silla de ruedas con el objetivo de detectar malas posturas del usuario para así, evitar problemas circulatorios y úlceras debido al exceso de presión prolongado sobre el tren inferior.

Para llevar a cabo esta función, el cojín cuenta con diversos sensores, estratégicamente ubicados según el estudio ergonómico, que aportarán la información necesaria para detectar dichas malas conductas. Es importante recordar que los sensores están hechos a partir de un bordado del hilo experimental que se ha venido estudiando durante todo el proyecto, siguiendo una geometría concreta, que se detallará posteriormente.

El cojín también cuenta con un microprocesador encargado de recopilar esta información, evaluarla y, mediante la conexión con un dispositivo móvil vía una app, poder alertar al usuario. De modo que el producto consta de tres etapas de funcionamiento: la detección llevada a cabo por los sensores. La evaluación, llevada a cabo por el microprocesador. Y finalmente, la alerta, llevada a cabo por la app del dispositivo móvil, según la información enviada por el microprocesador.

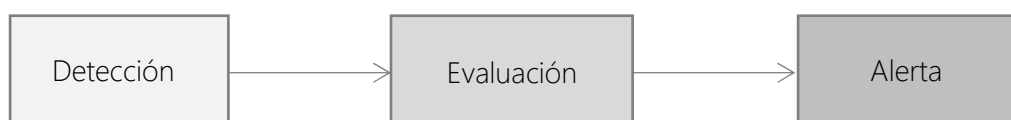


Figura 122. Esquema del funcionamiento del cojín

A continuación, se explicará la dinámica de funcionamiento de cada una de las etapas presentadas anteriormente:

- La detección se basa en el correcto funcionamiento de los sensores resistivos de presión, fabricados a partir del hilo experimental estudiado. La presión sobre los sensores ocasiona una deformación en los mismos. Dicha deformación produce un cambio en la resistencia que ofrece el hilo experimental del cual se forma el sensor. De modo que se relaciona la presión con un cambio resistivo.
Este funcionamiento ha sido analizado y comprobado en apartados anteriores, dando como resultado la factibilidad del uso del hilo experimental como sensor resistivo de presión y, su buen funcionamiento.
- Para la evaluación de la información proporcionada por los sensores, es de vital importancia entender que el concepto relevante es el equilibrio. Como ya se dijo en el estudio ergonómico, para detectar malas posturas hay que evaluar la presión en dos puntos simétricos respecto al eje principal del cojín; de modo que, si la presión que reciben no es parecida, se entiende que no están en equilibrio y, por tanto, se está adoptando una mala postura. Es por este motivo, que los sensores se deben evaluar en parejas, cada uno con su homólogo en el otro lado del eje de simetría.
- Finalmente, la alerta debe contar con un sistema de aviso efectivo, así como una interfaz clara y fácil de entender, para que el usuario pueda corregir su postura sin llevar a confusiones. Para cumplir estos requisitos, el método más eficaz es mediante una app móvil, que alerte al usuario cuando la postura que está adoptando puede conllevar riesgos mediante un aviso sonoro y/o de vibración y, que muestre esquemáticamente el cojín y los puntos críticos de presión a tiempo real, de modo que el usuario pueda ver donde se está apoyando y como debería corregir su postura para mejorar la situación.

Tanto a nivel funcional como estético el cojín estará formado por una estructura multicapa que integra todas las partes del sistema. Los sensores se bordarán sobre un tejido estándar de algodón. Por encima y por debajo de dicho tejido se añada una superficie espumosa con el objetivo de aportar confort al conjunto, así como para proteger los sensores y los elementos electrónicos que intervienen en el proceso.

Todo este sándwich está recubierto por otro tejido que le dará el aspecto y las propiedades al tacto finales.

Todos los artículos textiles empleados deben tener en cuenta la normativa estudiada en apartados anteriores.

Una vez definido por completo el producto y su funcionamiento es importante clarificar cómo se alimenta todo el sistema. Ya que se trata de un dispositivo que se usa mientras el usuario se mueve, una solución inteligente es aprovechar este movimiento para dotar de energía al sistema. Para hacerlo, se puede hacer uso de una dinamo, que cargue la batería del artículo mientras el usuario se desplaza con la silla. Es interesante también el uso de una batería auxiliar, para las situaciones en que el usuario se mantiene estático un tiempo suficientemente prolongado como para agotar la batería cargada por la dinamo.

De este modo, quedan claros los aspectos principales del producto final. A continuación, se profundizará en cada uno de las facetas mencionadas en la introducción de este apartado.

A continuación, se muestra un sketch del cojín:

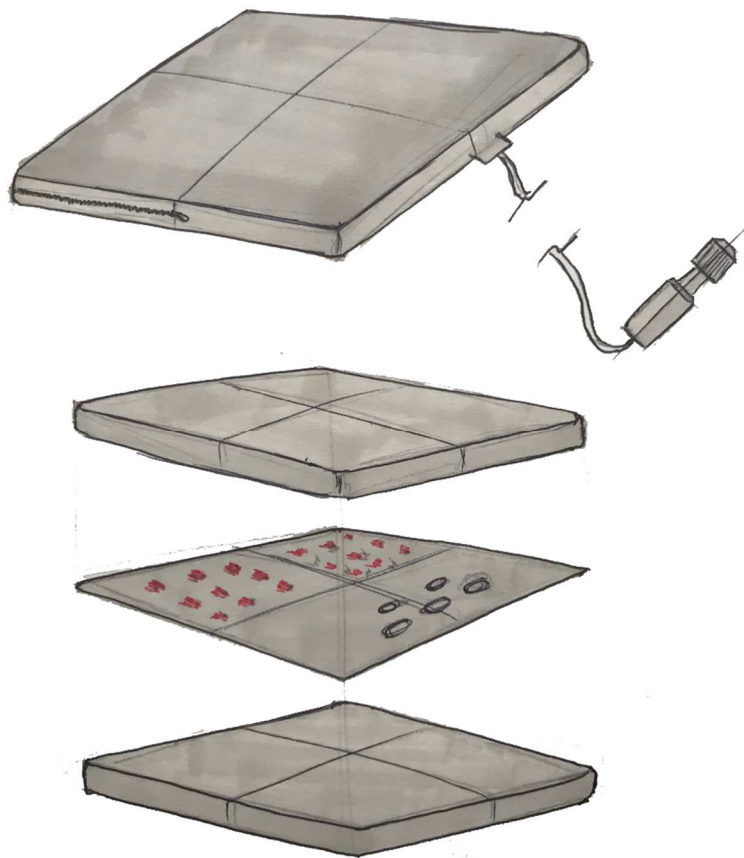


Figura 123. Sketch del cojín

Dimensiones

En este apartado se tratarán las dimensiones de los elementos principales del producto, es decir, el sensor y el cojín en sí.

- Sensor

Se recuerda que se trata de sensores resistivos de presión, hechos a partir del bordado sobre un tejido estándar de algodón, del hilo experimental estudiado, que aporta las propiedades eléctricas necesarias para poder actuar como tal.

Para poder dimensionar el sensor adecuadamente se deben recuperar datos y conclusiones extraídas del apartado de las simulaciones, así como del estudio ergonómico.

De las simulaciones realizadas, se llegó a la conclusión de que cuanto más largos fueran los tramos de bordado en el diseño del sensor, mayor rango de detección ofrecía. Es por este motivo que se ha optado por un diseño que cuente con el mayor número de tramos largos, en el menor espacio posible.

Referente a las dimensiones generales, se ha optado por reproducir tamaños de sensores ya existentes en el mercado que ejercen una función parecida a la que el sensor en cuestión debe llevar a cabo, vistos anteriormente en el estudio ergonómico.

En general, se trata de sensores pequeños ya que, de este modo, se puede instalar un mayor número de éstos y, la detección es más precisa y concreta porque aporta información de áreas más pequeñas, hecho que mejora el funcionamiento del dispositivo final.

A continuación, se muestra un diagrama del sensor, con las dimensiones finales adoptadas:

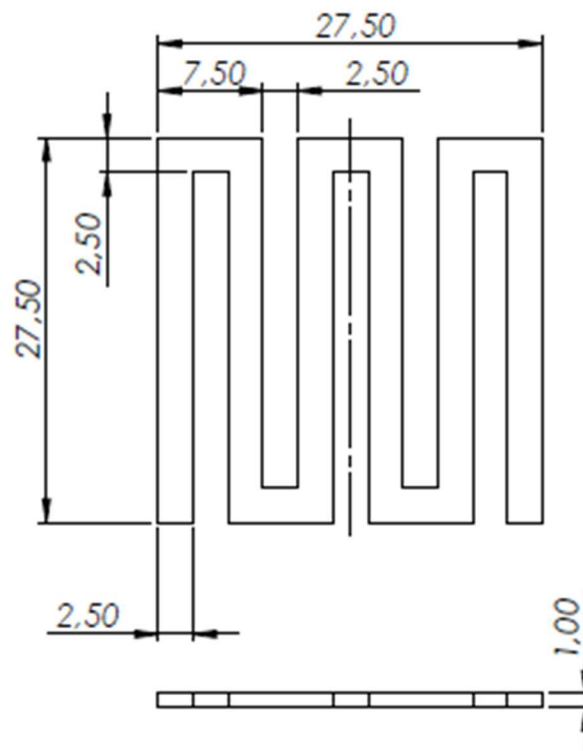


Figura 124. Dimensiones del sensor en mm

Como se puede ver, el diseño adopta una forma de zigzag, donde los tramos largos están separados entre ellos por un espacio igual a la anchura del cuerpo del bordado. Obteniendo de este modo, un gran número de los mencionados tramos largos en un área reducida, de modo que el sensor está completamente optimizado.

En cuanto al espesor del sensor, hace referencia al bucle de hilo creado por la acción de bordar. Es una dimensión difícil de calcular, pero se estima que es de 1 milímetro aproximadamente.

Estas dimensiones hacen posible la instalación de diversos sensores a lo largo y ancho del cojín.

- Cojín

Como ya se presentó en apartados anteriores, existen dos soluciones para solventar el problema del alcance del cojín. Por una parte, se puede diseñar un cojín de medidas estandarizadas cuyo público apto sea el mayor posible. Por otra parte, existe la posibilidad de elaborar diferentes tallas para que el cojín pueda llegar a más usuarios, dependiendo de las dimensiones de sus sillas.

Con el objetivo de llegar a un público mayor y, que el cojín se adapte mejor a la silla se ha optado por la segunda solución, el tallaje.

De modo que se ha diseñado un cojín con dimensiones para máximos, uno con dimensiones para mínimos y, un tercero con dimensiones intermedias, siendo la talla L, S y M, respectivamente.

De esta manera, se aporta más valor al producto ya que el cliente tiene la opción de escoger el cojín que se adapte mejor a su situación.

Es importante recordar que las dimensiones del sensor no varían según la talla, el elemento que variará será su distribución.

A continuación, se detalla el dimensionado de cada una de las tallas propuestas:

- Talla S

Como su nombre indica (Small), se trata del cojín más pequeño, en cuanto a dimensiones de longitud y anchura, ya que el grosor se mantiene constante en todas las tallas propuestas.

Las medidas, como justo se acabada de decir, corresponden a los mínimos del percentil 95 de la población y, está destinado a las sillas más pequeñas del mercado.

Si bien es cierto que las dimensiones del sensor no varían, la distribución de éstos se ajusta a las dimensiones del cojín para que sea igualmente funcional y pueda llevar a cabo la tarea de detección de malas posturas.

A continuación, se muestra un diagrama del cojín con las dimensiones finales adoptadas:

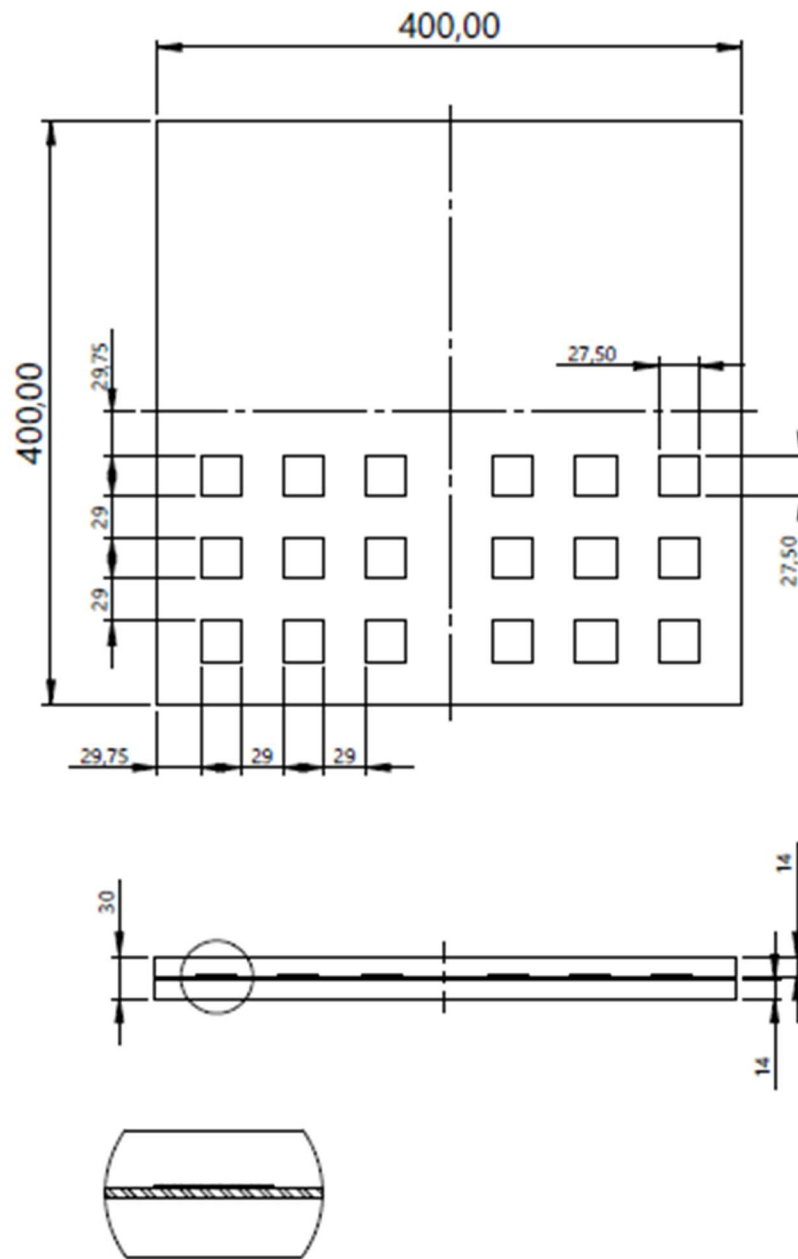


Figura 125. Dimensiones de la talla S del cojín en mm

En primer lugar, las dimensiones de longitud y anchura corresponden a los mínimos del percentil 95, estudiados en el estudio ergonómico.

A continuación, como se puede ver, los sensores están dispuestos en una matriz de 3x3, en cada uno de los cuadrantes inferiores del cojín, ya que es la zona crítica y, por tanto, la de acción de éstos.

La separación entre sensores se mantiene constante en todo el cojín con el objetivo de obtener lecturas adecuadas y, la separación de las matrices y los bordes del cojín es suficiente para que los resultados no se vean afectados con las deformaciones a las que se someten los sensores.

Finalmente, es importante destacar que esta disposición matricial cubre toda el área crítica del cojín con una máxima optimización del espacio y del sensor mismo.

En cuanto al alzado, se puede ver claramente que se trata de un cojín fino, que cuenta con dos volúmenes de espuma para proteger el sistema y aportar confort al usuario.

- Talla M

La siguiente talla, como su nombre indica, es la mediana (Medium). No se disponía directamente de las dimensiones de longitud y anchura de esta talla, pero se han obtenido a partir de un sencillo cálculo. Se ha hecho la media aritmética de cada una de las dimensiones entre los máximos (correspondientes a la talla más grande) y los mínimos (correspondientes a la talla pequeña S).

De este modo, se han obtenido unas dimensiones que corresponden al rango de población central de la curva de Gauss, tomando siempre los datos pertenecientes al percentil 95, ya que es el que se estipuló para diseñar el producto en el apartado del estudio ergonómico. Así pues, estas dimensiones corresponden a las sillas de un tamaño medio.

Al tratarse de un cojín más grande que el anterior, la disposición de los sensores ha variado con el objetivo de mantener la fiabilidad de detección, pero adaptándose a las dimensiones del cojín en cuestión.

A continuación, se muestra un diagrama del cojín con las dimensiones finales adoptadas:

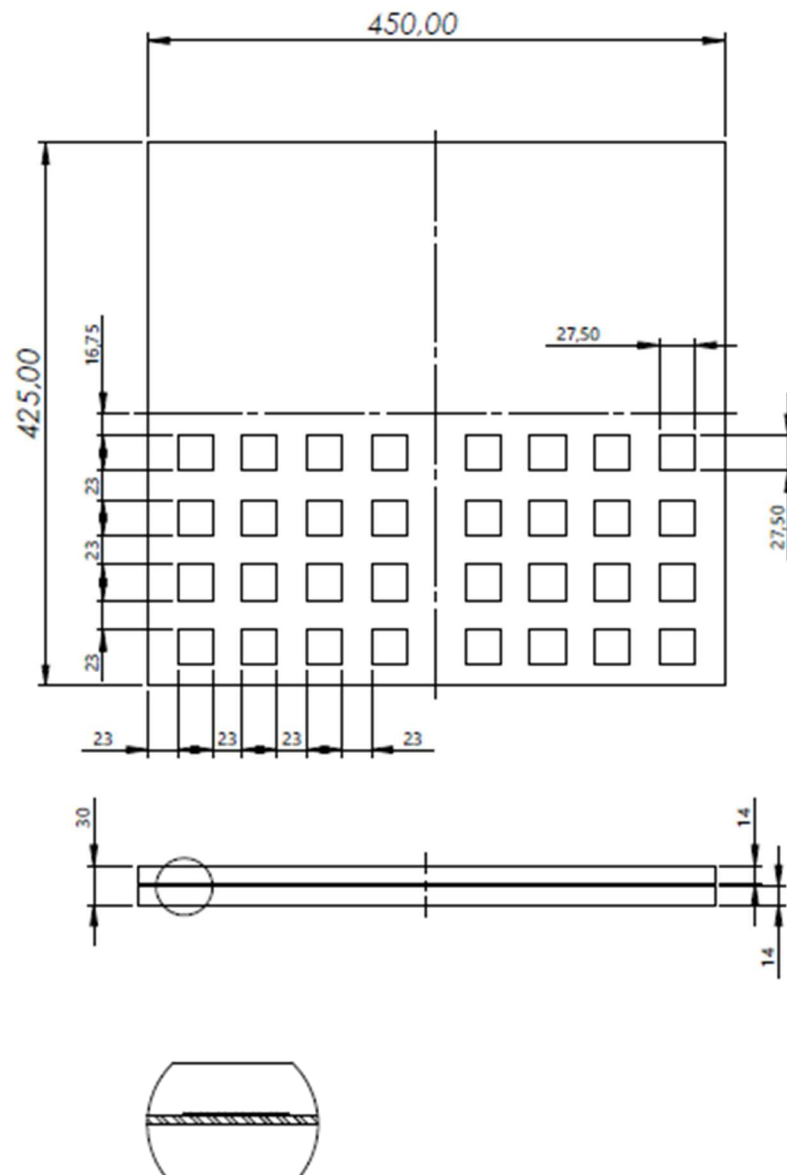


Figura 126. Dimensiones de la talla M del cojín en mm

En primer lugar, las dimensiones de longitud y anchura corresponden a las medias explicadas anteriormente, siempre dentro del percentil 95, comentado en el estudio ergonómico.

A continuación, como se puede ver, los sensores están dispuestos en una matriz de 4x4, en cada uno de los cuadrantes inferiores del cojín, ya que es la zona crítica y, por tanto, la de acción de éstos.

La separación entre sensores se mantiene constante en todo el cojín con el objetivo de obtener lecturas adecuadas y, la separación de las matrices y los

bordes del cojín es suficiente para que los resultados no se vean afectados con las deformaciones a las que se someten los sensores.

Al tratarse de un cojín de dimensiones mayores que el caso anterior, se ha dispuesto una fila y una columna más en cada matriz ya que el espacio lo permite y, se cubre toda el área de acción con las separaciones adecuadas entre sensores.

Al cubrir dicha área mediante esta nueva disposición matricial, se obtiene una máxima optimización del espacio y del sensor mismo.

En cuanto al alzado, como en el caso anterior, se puede ver claramente que se trata de un cojín fino, que cuenta con dos volúmenes de espuma para proteger el sistema y aportar confort al usuario.

- o Talla L

Finalmente, y como su nombre indica (Large), se trata del cojín más grande, en cuanto a dimensiones de longitud y anchura, ya que el grosor se mantiene constante en todas las tallas propuestas.

Las medidas, como se ha mencionado anteriormente, corresponden a los máximos del percentil 95 de la población. De este modo, este cojín es adecuado para las sillas más grandes del mercado.

Si bien es cierto que las dimensiones del sensor no varían, la distribución de éstos se ajusta a las dimensiones del cojín, ya que éste es el más grande de los tres; con el objetivo de mantener la fiabilidad de detección, pero adaptándose a sus dimensiones.

A continuación, se muestra un diagrama del cojín con las cotas finales adoptadas:

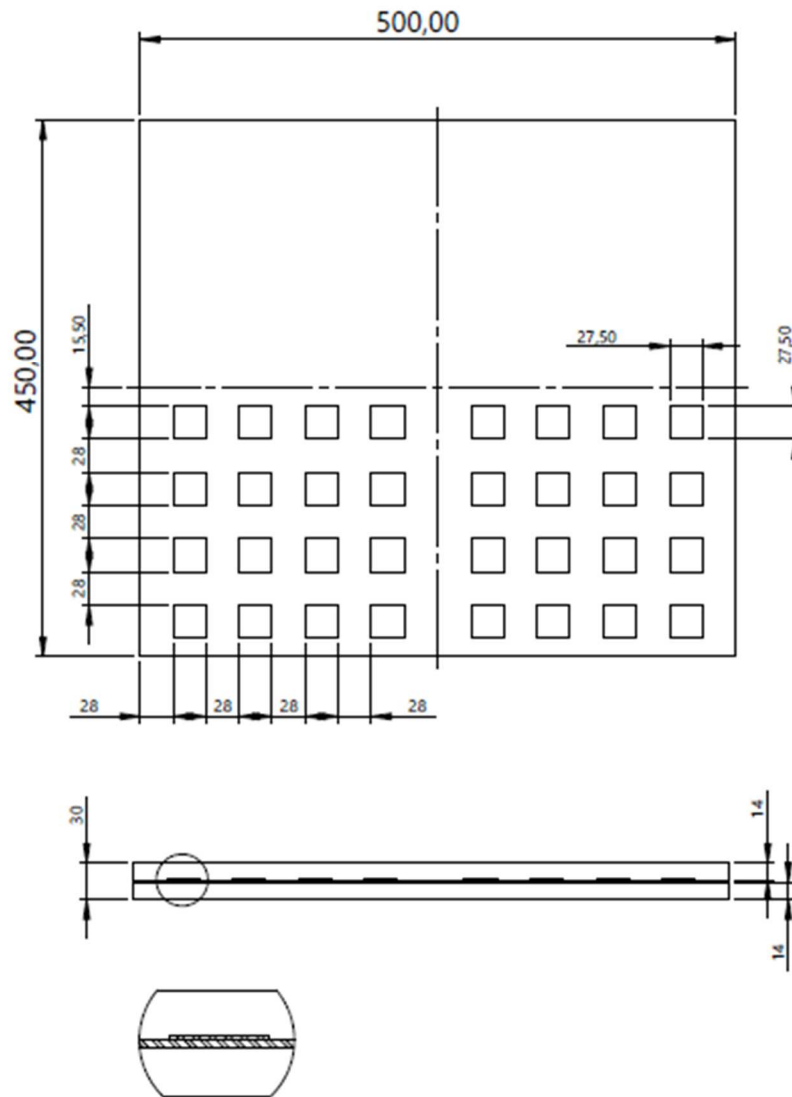


Figura 127. Dimensiones de la talla L del cojín en mm

En primer lugar, las dimensiones de longitud y anchura corresponden a los máximos del percentil 95, estudiados en el estudio ergonómico.

A continuación, como en el caso anterior, los sensores están dispuestos en una matriz de 4x4, en cada uno de los cuadrantes inferiores del cojín, ya que es la zona crítica y, por tanto, la de acción de éstos.

La separación entre sensores se mantiene constante en todo el cojín con el objetivo de obtener lecturas adecuadas y, la separación de las matrices y los bordes del cojín es suficiente para que los resultados no se vean afectados con las deformaciones a las que se someten los sensores.

Al tratarse del cojín de mayores dimensiones, se ha dispuesto una fila y una columna más en cada matriz, como en el caso anterior y a diferencia del cojín más pequeño. Ya que el espacio lo permite y, se cubre toda el área de acción con las separaciones adecuadas entre sensores.

Al cubrir dicha área mediante esta nueva disposición matricial, se obtiene una máxima optimización del espacio y del sensor mismo.

En cuanto al alzado, como en todos los casos, se puede ver claramente que se trata de un cojín fino, que cuenta con dos volúmenes de espuma para proteger el sistema y aportar confort al usuario.

De este modo, quedan definidas, caracterizadas y justificadas todas las dimensiones de los elementos que intervienen en el diseño y funcionamiento de los cojines sensorizados.

Por un lado, un buen dimensionamiento del sensor ofrece un mejor resultado en la detección de las malas posturas, así como su correcta distribución dentro del cojín. Por otro lado, la implementación de 3 tallas permite un mayor alcance del producto, ya que toda la población del percentil seleccionado y, en consecuencia, sus sillas, podrán hacer uso de los cojines, pues estos se adaptarán a las dimensiones de cada caso.

Para más información acerca de las dimensiones de los cojines, consultar el anexo, donde se encuentran los planos de los componentes de cada cojín, así como las distribuciones de los sensores.

Simulaciones

Cuando el producto a diseñar ha quedado especificado a nivel conceptual y dimensional, es momento de probar su uso mediante simulaciones electromagnéticas. En este apartado, se simularán las distintas versiones del cojín con el objetivo de poder dictaminar si realmente cumplen o no su función.

Como en el apartado anterior de simulaciones, se realizarán dos tipos principales de simulaciones. Por un lado, se simulará una presión uniforme sobre todo el cojín, que a su vez ocasionará una deformación uniforme en todos los sensores. Si bien es cierto que no se trata de un caso real, ya que como se ha visto en el estudio ergonómico la presión aplicada sobre el culo de una silla no es uniforme, servirá para saber cómo actúan los sensores como conjunto, dando una visión rápida y general de su correcto funcionamiento.

Siguiendo las directrices establecidas en las simulaciones anteriores, las presiones uniformes irán aumentando su valor, causando a su vez deformaciones que seguirán dicho aumento.

Por otro lado, se simularán presiones no uniformes con el objetivo de emular posturas que se pueden adoptar en casos reales que, prolongadas en el tiempo, pueden degenerar en problemas circulatorios o úlceras.

Se plantean 8 distribuciones de presión que se asemejan a la basculación del peso corporal en las 8 direcciones principales, como si de una brújula se tratara.

A continuación, se muestran unos diagramas que ilustran las 8 distribuciones de presión presentadas:

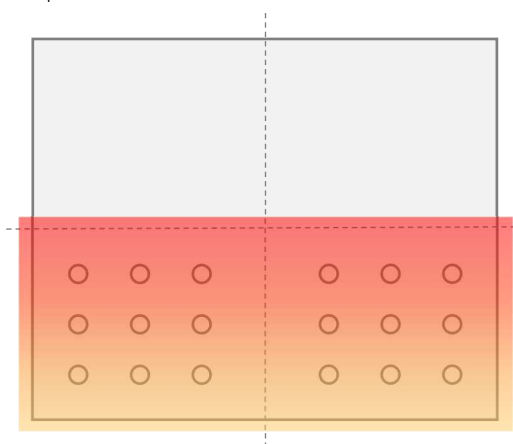


Figura 128. Distribución de presión hacia adelante

En este primer caso, la distribución de presión se asemeja a la basculación del cuerpo hacia adelante, de modo que los sensores que reciben más presión son los situados más cerca del eje horizontal del cojín y, ésta va disminuyendo a medida que la distancia respecto a dicho eje aumenta.

Es una distribución que se da cuando el usuario inclina su cuerpo hacia adelante.

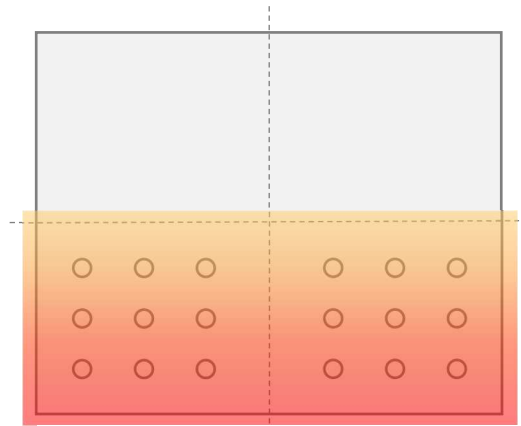


Figura 129. Distribución de presión hacia atrás

El segundo caso, es el inverso del anterior, la distribución de presiones se asemeja a la basculación del cuerpo hacia atrás, emulando la situación en la que el usuario inclina su cuerpo hacia atrás.

En este caso, los sensores que reciben más presión son los situados más cerca del borde inferior del cojín y, ésta va disminuyendo conforme la distancia respecto a dicho borde aumenta.

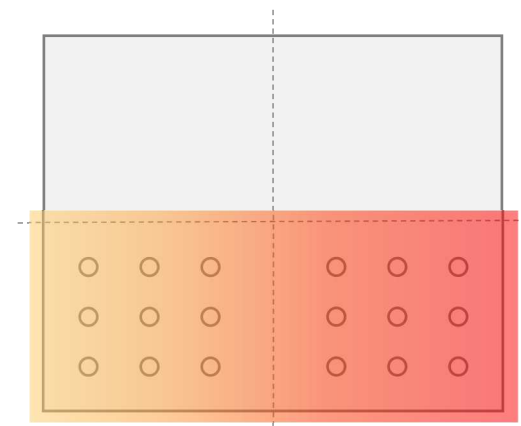


Figura 130. Distribución de presión hacia la derecha

En el tercer caso, la distribución de presión se asemeja a la basculación del cuerpo hacia el lado derecho, de modo que los sensores que reciben más presión son los situados más cerca del borde derecho del cojín y, ésta va disminuyendo a medida que la distancia respecto a dicho borde aumenta.

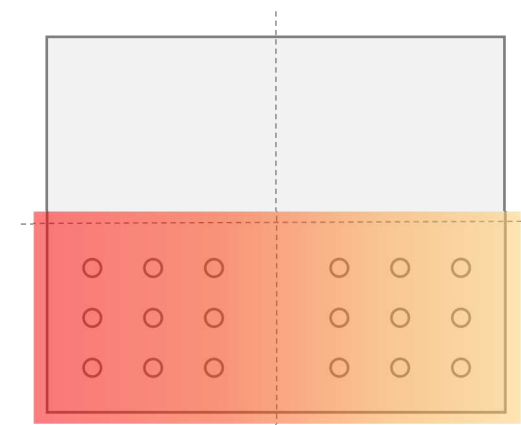


Figura 131. Distribución de presión hacia la izquierda

Es una distribución que se da cuando el usuario inclina su cuerpo hacia el lado derecho.

El cuarto caso, es el inverso del anterior, la distribución de presiones se asemeja a la basculación del cuerpo hacia el lado izquierdo, emulando la situación en la que el usuario inclina su cuerpo hacia la izquierda.

En este caso, los sensores que reciben más presión son los situados más cerca del borde izquierdo del

cojín y, ésta va disminuyendo conforme la distancia respecto a dicho borde aumenta.

De este modo quedan definidas las distribuciones de presión en las 4 direcciones principales. A continuación, se definirán las siguientes 4 distribuciones, que podrían ser denominadas como secundarias, ya que las basculaciones no siguen una sola dirección:

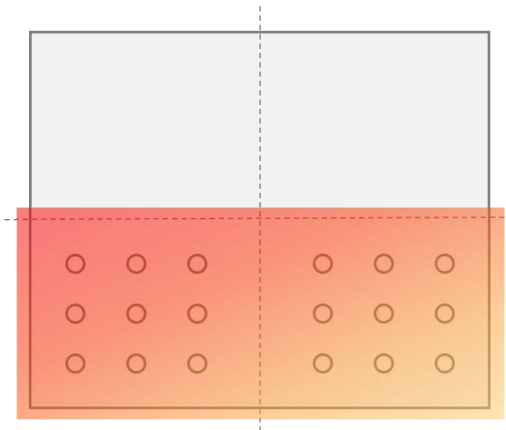


Figura 132. Distribución de presión hacia adelante y a la izquierda

En este quinto caso, la distribución de presión se asemeja a la basculación del cuerpo hacia adelante y hacia la izquierda, de modo que los sensores que reciben más presión son los situados más cerca del eje horizontal del cojín y a su borde izquierdo; ésta va disminuyendo a medida que la distancia respecto a dicho punto aumenta.

Es una distribución que se da cuando el usuario inclina su cuerpo hacia adelante y a la izquierda.

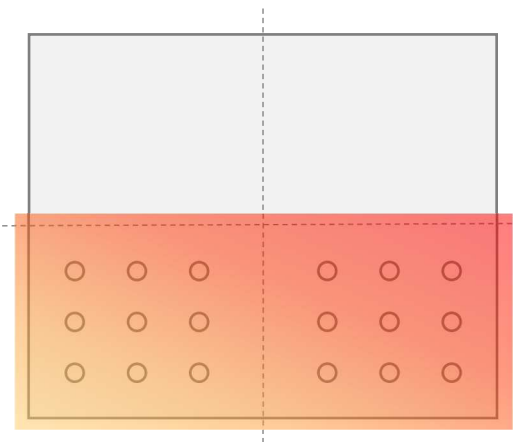


Figura 133. Distribución de presión hacia adelante y a la derecha

El sexto caso, es el simétrico (respecto al eje vertical) del anterior, la distribución de presiones se asemeja a la basculación del cuerpo hacia adelante y a la derecha, emulando la situación en la que el usuario inclina su cuerpo hacia adelante y a la derecha.

En este caso, los sensores que reciben más presión son los situados más cerca del eje horizontal del cojín y a su borde derecho; ésta va disminuyendo conforme la distancia respecto a dicho punto aumenta.

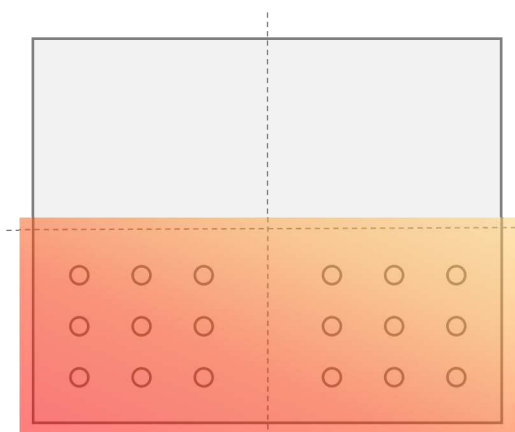


Figura 134. Distribución de presión hacia atrás y a la izquierda

El séptimo caso sigue la misma dinámica que los anteriores, la distribución de presión se asemeja a la basculación del cuerpo hacia atrás y hacia la izquierda, de modo que los sensores que reciben más presión son los situados más cerca de los bordes inferior e izquierdo del cojín; ésta va disminuyendo a medida que la distancia respecto

a dicho punto aumenta.

Es una distribución que se da cuando el usuario inclina su cuerpo hacia atrás y a la izquierda.

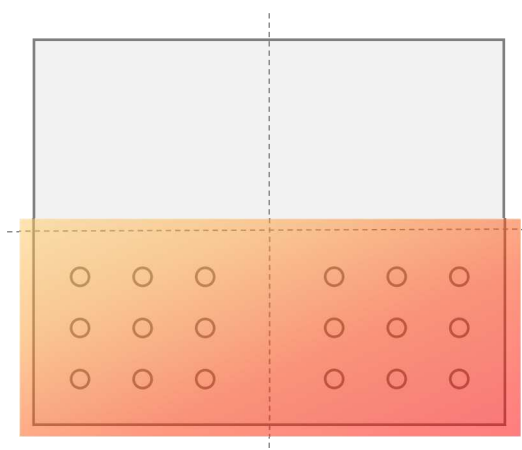


Figura 135. Distribución de presión hacia atrás y a la derecha

Finalmente, el octavo caso, es el simétrico (respecto al eje vertical) del anterior, la distribución de presiones se asemeja a la basculación del cuerpo hacia atrás y a la derecha, emulando la situación en la que el usuario inclina su cuerpo hacia atrás y a la derecha.

En este caso, los sensores que reciben más presión son los situados más cerca de los bordes inferior y derecho del cojín; ésta va disminuyendo

conforme la distancia respecto a dicho punto aumenta.

Una vez definidos los tipos de simulaciones en cuanto a presiones, es importante recordar que se seguirá la metodología aplicada en las simulaciones anteriores. Para las simulaciones con presión uniforme, se aumentará en 0.1 el valor de la deformación (ϵ) en cada iteración, hasta llegar a un valor máximo de 0.5, deformación a la que rara vez llegará el sensor.

En cuanto a la hipótesis de deformación aplicada, se usará la misma que la planteada en el apartado de simulaciones anterior, ya que los resultados obtenidos fueron, como mínimo, coherentes. Se recuerda que dicha hipótesis dictaminaba que el elemento resistivo que experimentaba una presión sobre su cara superior, aumentaba las dimensiones de longitud y anchura según el mismo factor, mientras que reducía su espesor según un cálculo de volúmenes.

Para las simulaciones con presiones no uniformes, la máxima deformación aplicada corresponde a $\epsilon=0.5$ y, esta disminuirá según las distribuciones anteriores hasta un valor mínimo de $\epsilon=0.1$. Como en el caso anterior, se seguirá la misma hipótesis de deformación.

Se usará el mismo programa, el CST Studio Suite y, las configuraciones iniciales serán las mismas que en las simulaciones anteriores, en cuanto a materiales se refiere, tanto para los sensores como para la base de algodón. Simplemente se modificarán las dimensiones de dicha base para adaptarlas a cada una de las tallas que se quieren estudiar, así como el número y posición de los sensores.

Finalmente, para obtener los resultados de resistencia, se seguirá también el mismo proceso. El programa proporciona valores de admitancia, al realizar el inverso de dicho valor, teniendo

en cuenta que se está operando con números complejos, se obtiene la impedancia y, de este resultado se toma únicamente la parte real del número complejo, ya que corresponde a la resistencia.

Es importante mencionar que la fórmula estudiada que relaciona la deformación con el cambio de resistencia también será de valor para los siguientes apartados, ya que la demostración del correcto funcionamiento del sensor o, en su defecto, el conjunto de sensores, se basa en el cumplimiento de la fórmula en cuestión.

Con todo el contexto clarificado ha llegado el momento de presentar y analizar los resultados para cada una de las tallas del cojín:

- **Talla S**

El primer paso para poder evaluar los resultados obtenidos de una manera metódica y ordenada, consiste en otorgar una nomenclatura y organización a los sensores dentro del contexto del cojín.

Como se ha visto anteriormente, en la talla S, el cojín dispone de dos matrices de 3x3 de sensores, siguiendo esta estructura matricial se le otorgará una nomenclatura a cada sensor con el objetivo de que se pueda situar fácilmente dentro del cojín y, se pueda emparejar con su homólogo.

De este modo, se ha decidido organizar los sensores según la posición que ocupa dentro de las filas y las columnas de las matrices, quedando del siguiente modo:

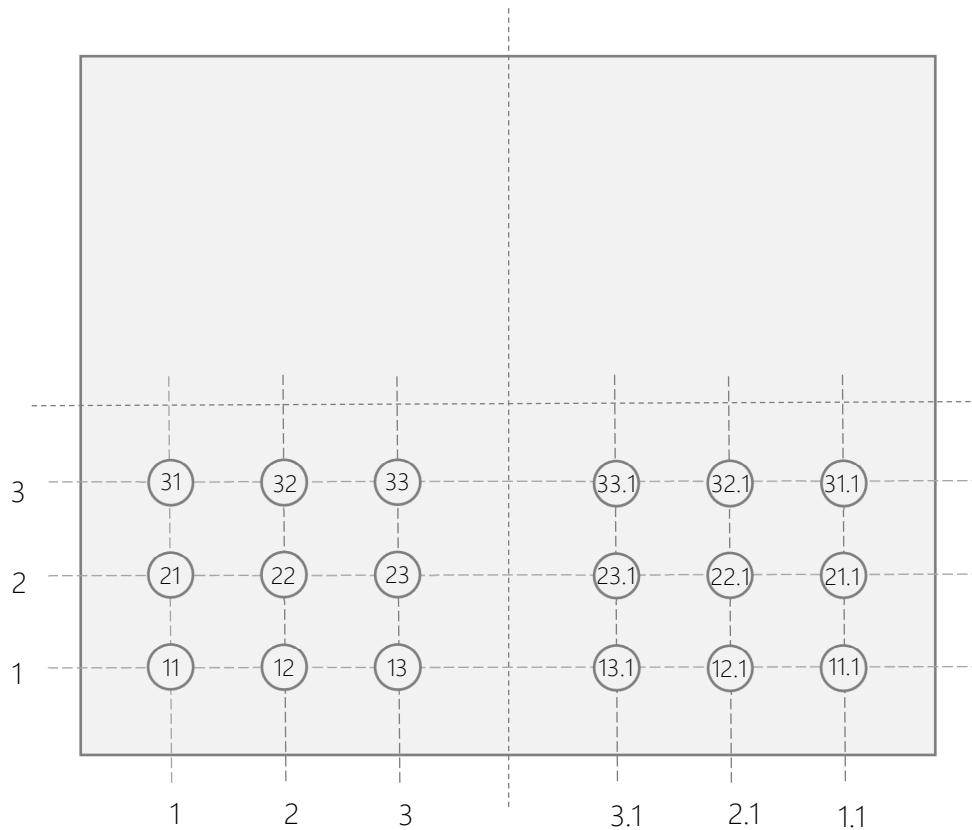


Figura 136. Esquema de la organización de los sensores en la talla S

Una vez establecida la nomenclatura de los sensores es momento de analizar los resultados de los dos tipos de simulación.

- Presión uniforme

En esta primera simulación, se han realizado 5 iteraciones, aumentando en 0.1 la deformación en cada iteración. Se recuerda que la hipótesis plantea que la deformación ocasionaría un aumento de longitud y la anchura y, una reducción en el espesor. La longitud y anchura resultantes se calculan a partir de la deformación, y el espesor resultante se calcula con una comparación de volúmenes.

Se ha decidido realizar 5 iteraciones porque el valor final de la deformación corresponde a que el objeto se ha deformado la mitad de la longitud inicial, es decir, que ha aumentado sus dimensiones en un 50%, en cuanto a longitud y anchura. Se trata de una deformación a la que raramente llegará el sensor y, por este motivo se ha propuesto este límite.

A continuación, se muestran dos imágenes que ilustran la figura inicial, sin deformación y, la figura resultante final con deformación $\epsilon=0.5$:

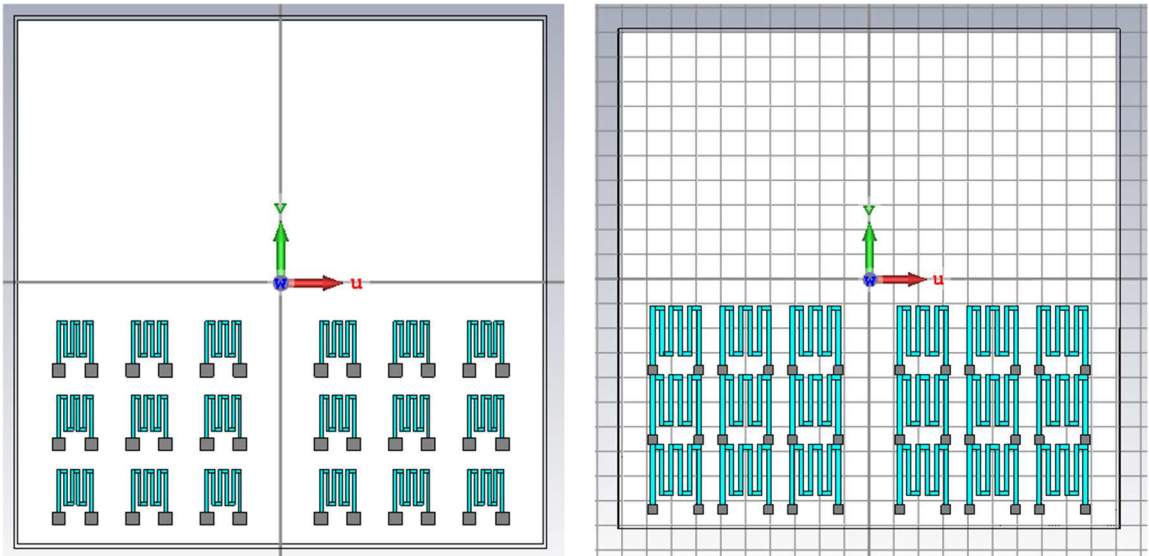


Figura 137. Figura sin deformación y con deformación máxima

Se puede apreciar como el tamaño de los sensores ha aumentado debido a las deformaciones causadas por la presión.

Como en el apartado de simulaciones previo, se debería establecer una relación lineal entre la deformación y la resistencia, teóricamente. Para demostrar dicho hecho, a continuación, se muestra una tabla con los valores obtenidos en las simulaciones de cada iteración:

Sensores	Deformaciones (ϵ)					
	Original	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
11	2118.41 Ω	2553.77 Ω	3021.98 Ω	3553.95 Ω	4083.66 Ω	4676.16 Ω
11.1	2117.00 Ω	2543.51 Ω	3037.73 Ω	3554.23 Ω	4088.23 Ω	4675.17 Ω
12	2116.60 Ω	2501.00 Ω	3034.70 Ω	3554.24 Ω	4094.54 Ω	4680.46 Ω
12.1	2118.89 Ω	2543.62 Ω	3029.70 Ω	3555.04 Ω	4093.15 Ω	4677.16 Ω
13	2118.99 Ω	2552.29 Ω	3038.68 Ω	3554.57 Ω	4089.06 Ω	4659.45 Ω
13.1	2116.12 Ω	2553.80 Ω	3037.70 Ω	3556.07 Ω	4081.60 Ω	4655.34 Ω
21	2116.44 Ω	2536.70 Ω	3006.45 Ω	3507.07 Ω	3960.90 Ω	4537.60 Ω
21.1	2116.06 Ω	2516.14 Ω	3006.18 Ω	3479.31 Ω	3971.58 Ω	4438.77 Ω

Sensores	Deformaciones (ϵ)					
	Original	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
22	2118.86 Ω	2531.05 Ω	3008.91 Ω	3495.06 Ω	3952.31 Ω	4528.16 Ω
22.1	2119.09 Ω	2519.63 Ω	3009.92 Ω	3484.41 Ω	3973.30 Ω	4489.92 Ω
23	2119.81 Ω	2543.50 Ω	3013.34 Ω	3488.27 Ω	3971.01 Ω	4443.46 Ω
23.1	2118.78 Ω	2538.11 Ω	3011.31 Ω	3491.69 Ω	3944.14 Ω	4443.92 Ω
31	2118.33 Ω	2539.81 Ω	3030.98 Ω	3536.58 Ω	4054.41 Ω	4591.51 Ω
31.1	2116.25 Ω	2539.75 Ω	3022.95 Ω	3508.90 Ω	4024.49 Ω	4560.02 Ω
32	2118.28 Ω	2535.58 Ω	3032.50 Ω	3527.58 Ω	4014.21 Ω	4602.18 Ω
32.1	2119.31 Ω	2520.23 Ω	3019.35 Ω	3510.06 Ω	3973.93 Ω	4506.97 Ω
33	2117.76 Ω	2527.62 Ω	3004.94 Ω	3530.70 Ω	3987.66 Ω	4518.82 Ω
33.1	2119.15 Ω	2537.89 Ω	3017.56 Ω	3506.38 Ω	4008.36 Ω	4546.10 Ω
\bar{x}	2118.01 Ω	2535.23 Ω	3021.39 Ω	3521.90 Ω	4020.37 Ω	4568.40 Ω
CV ³	0.0593%	0.5517%	0.4009%	0.8010%	1.3950%	1.9021%

Tabla 15. Resultados de los sensores para la talla S

Como se puede apreciar, el coeficiente de variación es muy bajo, de modo que todos los sensores obtienen valores de resistencia similares, hecho que cerciora el buen funcionamiento del cojín.

³ El coeficiente de variación es un concepto estadístico que hace referencia a la relación entre el tamaño de la media y la variabilidad de la variable.

Para mostrar de un modo más visual la relación entre la deformación y el cambio de resistencia se ha generado un gráfico. Se ha hecho uso de una regresión lineal para obtener la ecuación de la recta que define la relación entre deformación y cambio de resistencia, a partir de la media calculada:

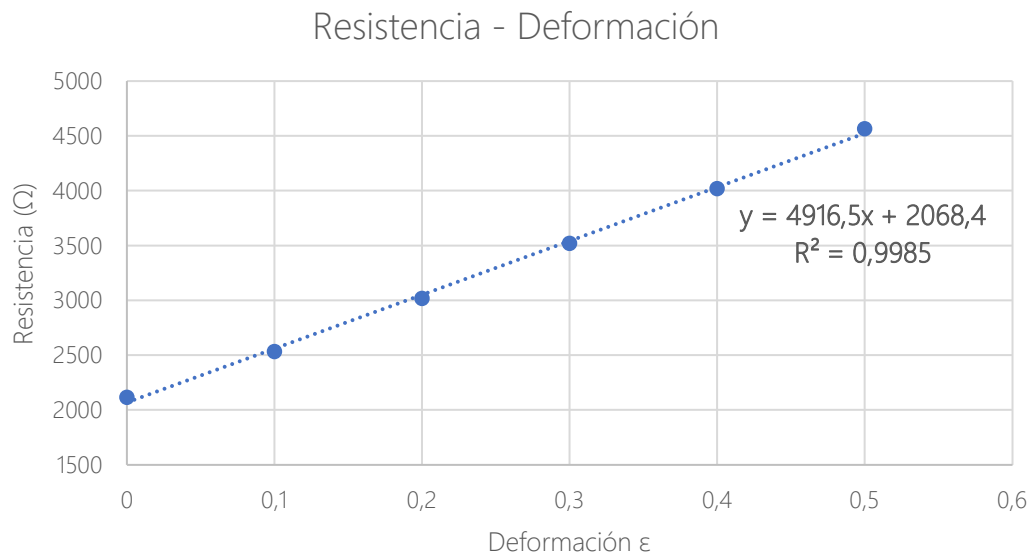


Figura 138. Gráfico resistencia-deformación de la talla S

Como se puede observar, sí existe una relación lineal entre la deformación y la resistencia de los sensores, de modo que, mediante este ensayo, se verifica el correcto funcionamiento del cojín.

Para terminar de demostrar que la relación planteada por la fórmula 5, que relaciona la deformación y la resistencia se cumple, se muestra otra gráfica que enfrenta el incremento de la resistencia respecto a la resistencia inicial contra la deformación, siempre extrayendo los datos de la media calculada. Quedando de este modo:

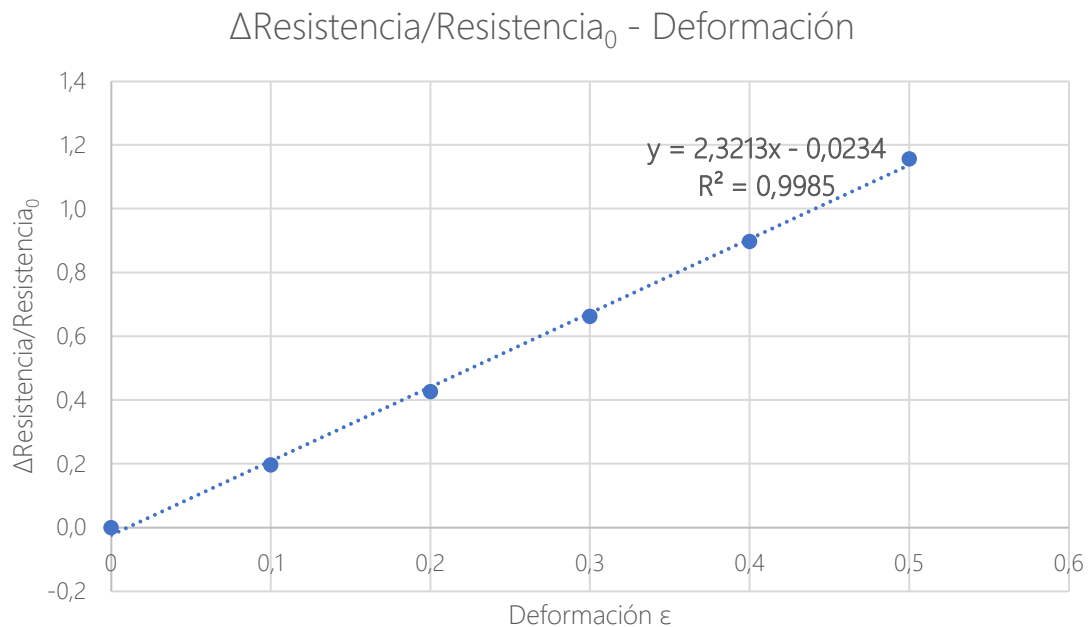


Figura 139. Gráfico aumento resistencia-deformación de la talla S

En este caso también se ha hecho uso de una regresión lineal para extraer la ecuación de la recta. Como se puede ver y, como en el gráfico anterior, se mantiene la relación lineal entre resistencia y deformación, comprobando el buen funcionamiento del producto mediante el cumplimiento de la fórmula que relaciona estos dos conceptos.

Una vez finalizadas todas las simulaciones de presión uniforme, es momento de sacar los insights de este estudio.

En primer lugar y, como justo se acaba de decir, se puede dictaminar que los sensores funcionan, tanto individualmente como en conjunto. Esta afirmación se respalda en dos pilares básicos. Por un lado, se ha visto que, en todos los ensayos realizados, se obtiene un coeficiente de variación muy bajo, hecho que se puede traducir como que las lecturas obtenidas de cada sensor son muy parecidas entre ellas, probando de este modo, que no existen interferencias entre los sensores y, que pueden actuar como un conjunto.

Por el otro lado, se ha demostrado que se mantiene la linealidad en la relación entre la deformación y la resistencia, en todos los casos. Verificando de nuevo, la fórmula que entabla la base del funcionamiento del sensor resistivo de presión, además de poder extrapolarlo al conjunto de sensores.

En segundo lugar, se ha comprobado la viabilidad del cojín gracias a que los sensores pueden actuar juntos y como conjunto. Al no causar interferencias ni malfuncionamientos entre ellos se puede entender que el producto final tiene un buen funcionamiento.

- Presión no uniforme

En este apartado, se analizarán los distintos escenarios de presiones no uniformes comentados anteriormente.

Con el objetivo de mostrar los resultados de forma clara y ordenada se ha recurrido a la realización de una tabla que contenga los valores de resistencia de cada sensor para cada escenario.

La nomenclatura empleada para los sensores es la misma que se ha usado en las presiones uniformes y, la nomenclatura para definir cada escenario se ha basado en los puntos cardinales, ya que representa un claro paralelismo de la dirección en que se ha aplicado la presión. De este modo, los escenarios quedan definidos de la siguiente manera:

- Norte (N): presión resultante de la basculación del peso hacia adelante.
- Sur (S): presión resultante de la basculación del peso hacia atrás.
- Este (E): presión resultante de la basculación del peso hacia la derecha.
- Oeste (W): presión resultante de la basculación del peso hacia la izquierda.
- Noreste (NE): presión resultante de la basculación del peso hacia adelante y a la derecha.
- Noroeste (NW): presión resultante de la basculación del peso hacia adelante y a la izquierda.
- Sudeste (SE): presión resultante de la basculación del peso hacia atrás y la derecha.
- Sudoeste (SW): presión resultante de la basculación del peso hacia atrás y a la izquierda.

Sensores	Presiones no uniformes											
	Norte (N)			Sur (S)			Este (E)			Oeste (W)		
	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ
11	0.1	2538.71	0.05%	0.5	4679.33	0.12%	0.1	2544.56	81.26%	0.5	4675.10	84.07%
11.1	0.1	2539.99		0.5	4684.92		0.5	4612.20		0.1	2539.89	
12	0.1	2541.18	0.02%	0.5	4652.28	0.21%	0.1	2539.91	82.18%	0.5	4485.32	76.34%
12.1	0.1	2540.78		0.5	4661.86		0.5	4627.22		0.1	2543.61	
13	0.1	2538.81	0.14%	0.5	4677.05	0.27%	0.3	3560.46	0.22%	0.3	3547.20	0.14%
13.1	0.1	2542.32		0.5	4689.69		0.3	3552.52		0.3	3552.06	
21	0.3	3480.84	0.91%	0.3	3498.31	0.47%	0.1	2523.33	70.47%	0.5	4451.38	77.56%
21.1	0.3	3449.29		0.3	3481.83		0.5	4301.47		0.1	2506.91	
22	0.3	3463.84	0.48%	0.3	3485.66	0.35%	0.1	2515.37	69.32%	0.5	3902.47	54.45%
22.1	0.3	3480.42		0.3	3473.65		0.5	4259.12		0.1	2526.58	
23	0.3	3491.59	0.60%	0.3	3503.38	0.72%	0.3	3502.34	0.49%	0.3	3454.81	0.84%
23.1	0.3	3470.92		0.3	3478.40		0.3	3485.21		0.3	3483.95	
31	0.5	4578.37	0.24%	0.1	2532.98	0.32%	0.1	2529.82	82.10%	0.5	4548.45	79.93%

31.1	0.5	4589.45		0.1	2541.13		0.5	4606.92		0.1	2527.88	
32	0.5	4575.22	0.43%	0.1	2537.35	0.12%	0.1	2529.07	78.01%	0.5	4373.12	72.98%
32.1	0.5	4555.52		0.1	2534.28		0.5	4502.04		0.1	2528.16	
33	0.5	4521.88	1.96%	0.1	2531.99	0.17%	0.3	3491.78	0.41%	0.3	3510.62	0.48%
33.1	0.5	4610.41		0.1	2536.26		0.3	3505.95		0.3	3527.44	

Tabla 16. Resultados de las deformaciones principales en la talla S

Sensores	Presiones no uniformes											
	Noreste (NE)			Noroeste (NW)			Sureste (SE)			Suroeste (SW)		
	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ
11	0.1	2543.54	84.32%	0.5	4664.52	83.74%	0.1	2543.51	83.52%	0.5	4688.37	84.55%
11.1	0.5	4688.33		0.1	2538.63		0.5	4667.79		0.1	2540.42	
12	0.1	2542.66	39.66%	0.3	3541.85	39.29%	0.3	3561.47	28.36%	0.5	4663.96	30.96%
12.1	0.3	3551.18		0.1	2542.84		0.5	4571.55		0.3	3561.48	
13	0.1	2537.97	39.84%	0.3	3558.45	40.14%	0.3	3555.67	31.24%	0.5	4676.80	31.52%
13.1	0.3	3549.14		0.1	2539.16		0.5	4666.35		0.3	3555.98	
21	0.1	2528.71	76.21%	0.5	4468.97	77.87%	0.1	2510.75	73.77%	0.5	4524.17	79.26%
21.1	0.5	4455.75		0.1	2512.46		0.5	4362.86		0.1	2523.85	
22	0.1	2515.05	77.83%	0.5	4388.78	74.54%	0.1	2516.68	62.65%	0.5	4467.65	76.78%
22.1	0.5	4472.56		0.1	2514.54		0.5	4093.40		0.1	2527.21	
23	0.3	3501.91	1.32%	0.3	3503.16	0.89%	0.3	3519.50	2.11%	0.3	3453.55	1.79%
23.1	0.3	3456.26		0.3	3472.33		0.3	3446.87		0.3	3515.44	
31	0.1	2540.47	80.81%	0.5	4571.17	80.34%	0.1	2532.63	81.65%	0.5	4574.45	80.79%

Sensores	Presiones no uniformes											
	Noreste (NE)			Noroeste (NW)			Sureste (SE)			Suroeste (SW)		
	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ
31.1	0.5	4593.55		0.1	2534.76		0.5	4600.58		0.1	2530.24	
32	0.3	3537.71	28.97%	0.5	4575.80	32.28%	0.1	2534.00	37.30%	0.3	3489.10	37.93%
32.1	0.5	4562.54		0.3	3459.27		0.3	3479.25		0.1	2529.61	
33	0.3	3529.43	30.51%	0.5	4544.97	29.00%	0.1	2525.79	38.18%	0.3	3525.52	38.85%
33.1	0.5	4606.38		0.3	3523.30		0.3	3490.12		0.1	2539.09	

Tabla 17. Resultados de las deformaciones secundarias en la talla S

Como se puede ver, aparte de presentar los datos de resistencia, también se muestra la deformación aplicada en cada caso y, una comparación relativa de la diferencia de resistencia entre los sensores homólogos.

Para realizar el cálculo de la diferencia relativa, se ha tomado como referencia siempre el valor más pequeño de los dos. Se ha dictaminado también que, una diferencia mayor al 30% es el límite para considerar el desequilibrio como potencialmente peligroso si se prolonga en el tiempo.

Se puede ver claramente que, en la mayoría de los escenarios planteados, existe riesgo potencial de lesión, si se prolonga en el tiempo. Sin embargo, hay dos escenarios en que estas directrices de análisis no funcionan; es el caso de los escenarios norte y sur. El problema es que el análisis se lleva a cabo mediante la comparación de los sensores a lado y lado del eje vertical de simetría del cojín y, con este tipo de presiones no uniformes, las deformaciones se producen a lo largo de este eje y, por igual en cada lado.

Por este motivo, se debería añadir un sistema de análisis para cubrir estos casos. Dicho sistema podría basarse en la comparación de los sensores de la primera fila con los de la última y, fijando un porcentaje mínimo de diferencia relativa, se podría saber si el usuario se encuentra en una posición de riesgo.

A parte de las tablas presentadas anteriormente, también se han generado unos gráficos que ilustran la información contenida en las tablas para cada escenario.

Dichos gráficos pueden asemejarse a una distribución de presiones 3D, ya que los ejes X y Y, corresponden al sistema de posicionamiento de los sensores (filas y columnas), mientras que el eje Z refleja la resistencia obtenida en cada caso.

Así pues, a continuación, se mostrarán los gráficos mencionados para cada escenario:

Para el escenario norte, donde las presiones presentan una basculación del peso hacia adelante se ha obtenido la siguiente distribución:

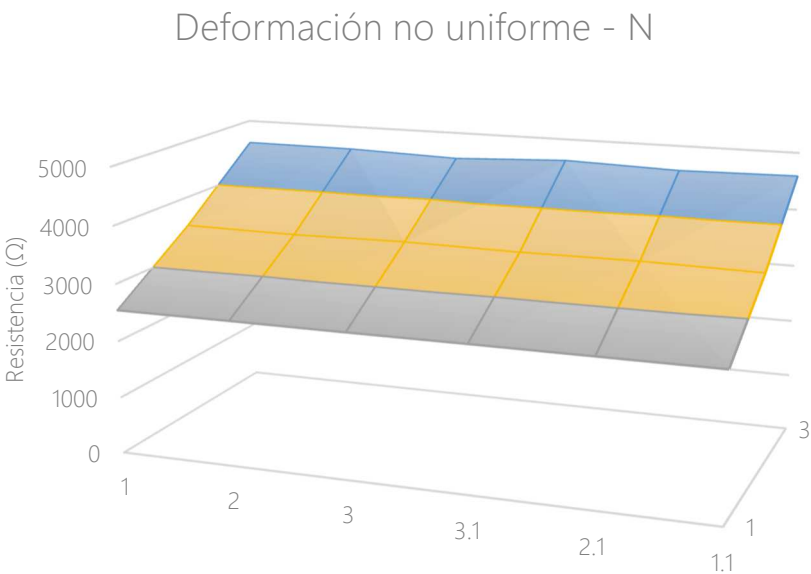


Figura 140. Distribución de resistencias para la deformación Norte en la talla S

Se puede apreciar la pendiente creciente que presenta la distribución, donde los valores más elevados se sitúan lo más alejados del borde inferior.

Para el escenario sur, donde las presiones presentan una basculación del peso hacia atrás se ha obtenido la siguiente distribución:

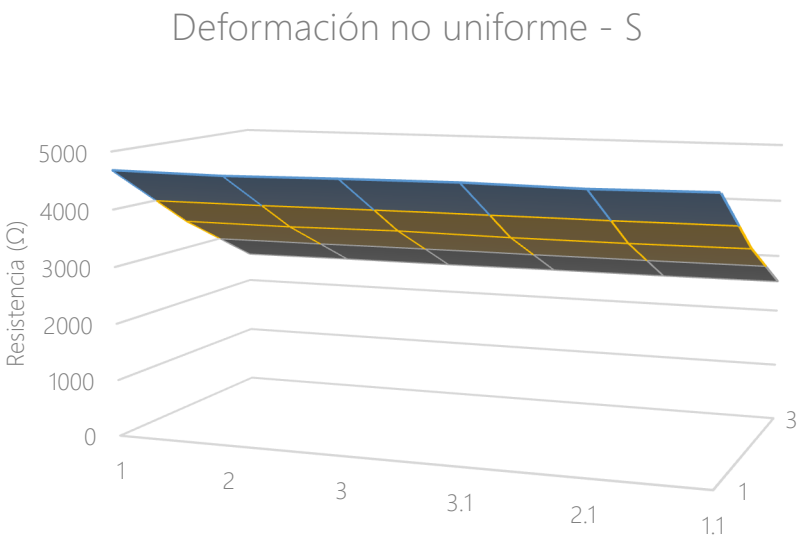


Figura 141. Distribución de resistencias para la deformación Sur en la talla S

Se puede apreciar la pendiente decreciente que presenta la distribución, donde los valores más elevados se sitúan lo más cerca del borde inferior.

Para el escenario este, donde las presiones presentan una basculación del peso hacia la derecha se ha obtenido la siguiente distribución:

Deformación no uniforme - E

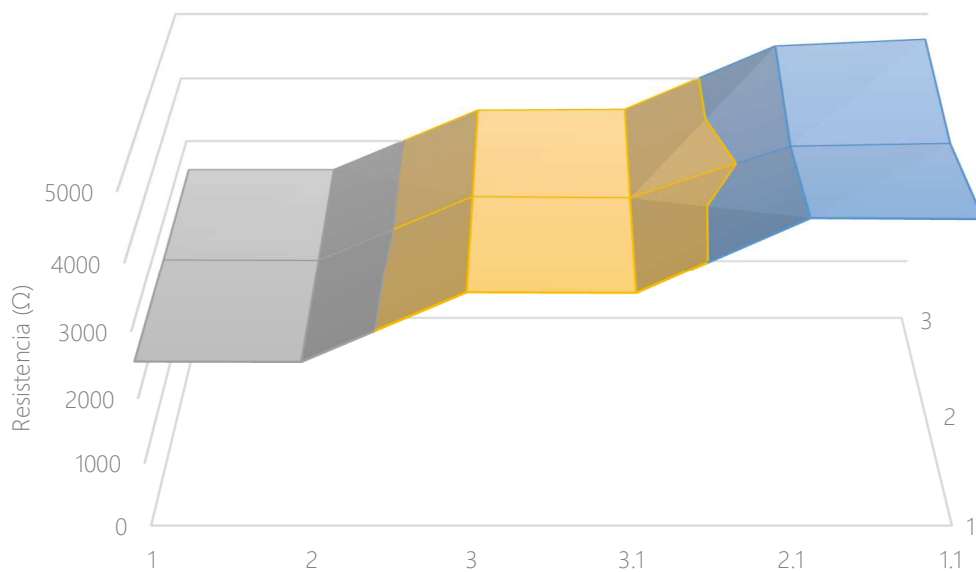


Figura 142. Distribución de resistencias en la deformación Este para la talla S

Se puede apreciar la pendiente creciente hacia la derecha que presenta la distribución, donde los valores más elevados se sitúan lo más cerca del borde derecho.

Para el escenario oeste, donde las presiones presentan una basculación del peso hacia la izquierda se ha obtenido la siguiente distribución:



Figura 143. Distribución de resistencias para la deformación Oeste en la talla S

Se puede apreciar la pendiente creciente hacia la izquierda que presenta la distribución, donde los valores más elevados se sitúan lo más cerca del borde izquierdo.

Para el escenario noreste, donde las presiones presentan una basculación del peso hacia adelante y a la derecha se ha obtenido la siguiente distribución:

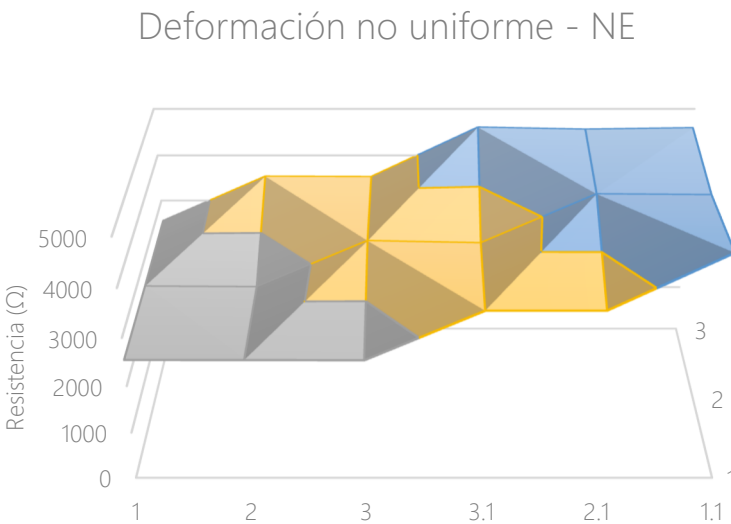


Figura 144. Distribución de resistencias para la deformación Noreste en la talla S

Se puede apreciar la pendiente creciente hacia adelante y a la derecha que presenta la distribución, donde los valores más elevados se sitúan lo más cerca del borde superior derecho.

Para el escenario noroeste, donde las presiones presentan una basculación del peso hacia adelante y a la izquierda se ha obtenido la siguiente distribución:

Deformación no uniforme - NW

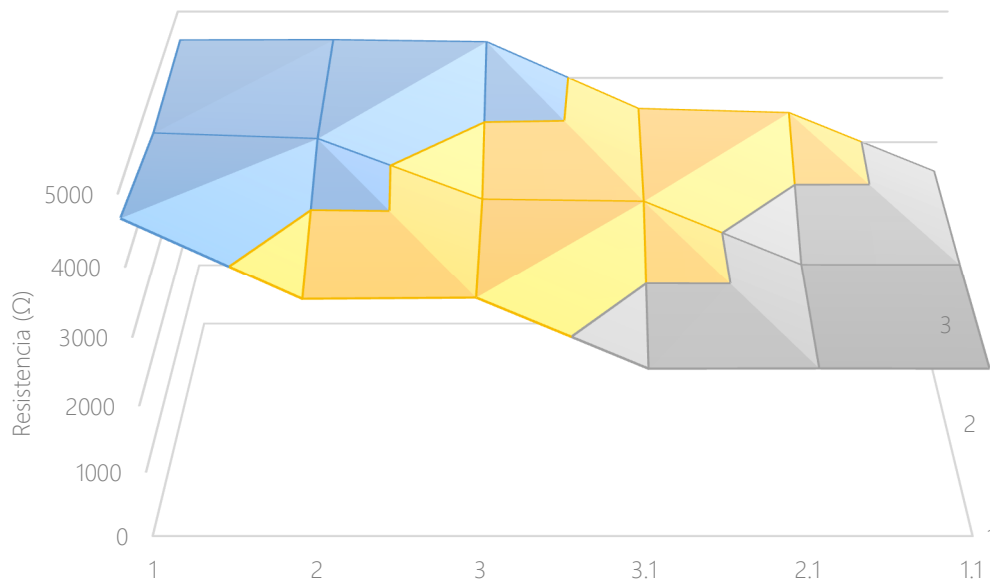


Figura 145. Distribución de resistencias para la deformación Noroeste en la talla S

Se puede apreciar la pendiente creciente hacia adelante y a la izquierda que presenta la distribución, donde los valores más elevados se sitúan lo más cerca del borde superior izquierdo.

Para el escenario sureste, donde las presiones presentan una basculación del peso hacia atrás y a la derecha se ha obtenido la siguiente distribución:

Deformación no uniforme - SE

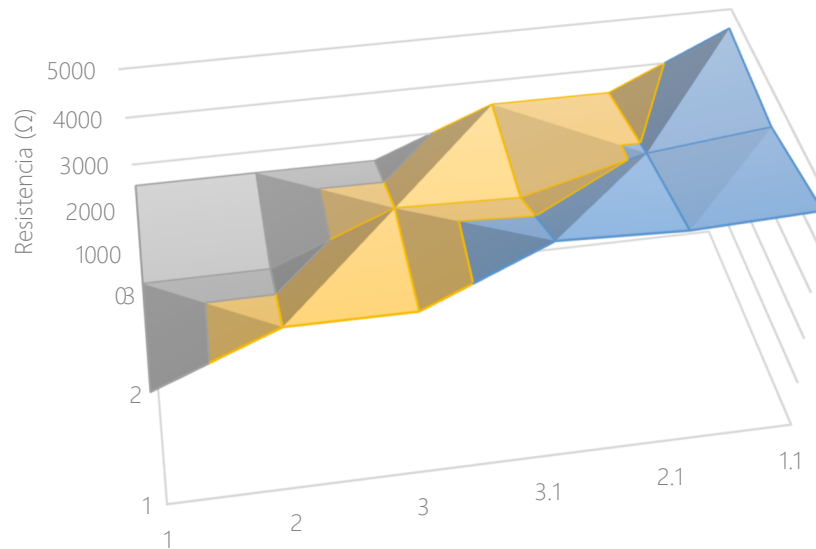


Figura 146. Distribución de resistencias para la deformación Sureste en la talla S

Se puede apreciar la pendiente creciente hacia atrás y a la derecha que presenta la distribución, donde los valores más elevados se sitúan lo más cerca del borde inferior derecho.

Para el escenario suroeste, donde las presiones presentan una basculación del peso hacia atrás y a la izquierda se ha obtenido la siguiente distribución:

Deformación no uniforme - SW

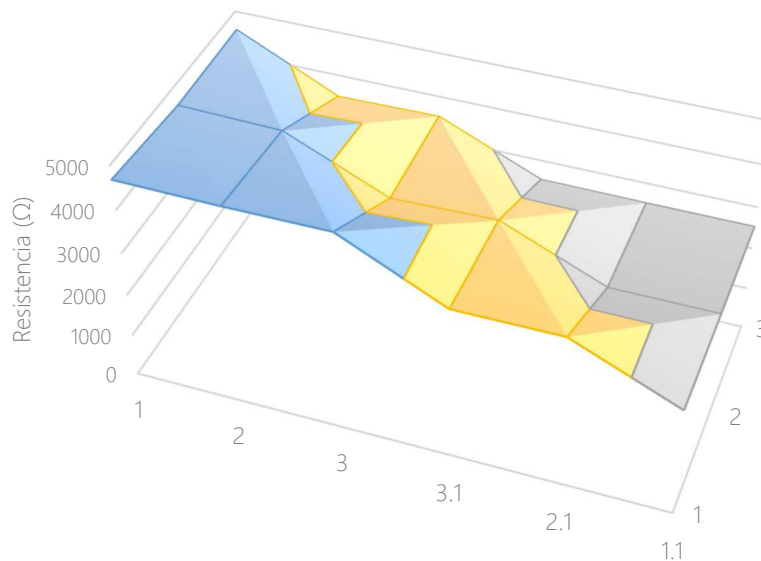


Figura 147. Distribución de resistencias para la deformación Suroeste en la talla S

Se puede apreciar la pendiente creciente hacia atrás y a la izquierda que presenta la distribución, donde los valores más elevados se sitúan lo más cerca del borde inferior izquierdo.

Una vez finalizadas todas las simulaciones de presión no uniforme, es momento de sacar los insights de este estudio.

Se puede afirmar que se ha cumplido el objetivo básico y principal de este tipo de simulaciones que, consistía en evaluar si la hipótesis de evaluación de malas posturas a partir del equilibrio entre los sensores homólogos podía o no satisfacer todas las casuísticas planteadas.

Como ya se ha dicho anteriormente, hay dos escenarios en que este sistema de evaluación falla, son aquellas en que la basculación del peso sigue la misma dirección que el eje de simetría. En estos casos, la evaluación de sensores a lado y lado de dicho eje no aporta la información necesaria para detectar malas posturas.

Una posible solución, sería la implementación de otros parámetros de evaluación que consideren los ejes horizontales a parte del vertical. De este modo se podría evaluar las presiones en las distintas filas de las matrices de sensores.

En cuanto al resto de casuísticas, el sistema de evaluación funciona perfectamente.

Cabe recalcar también el buen funcionamiento de los sensores, tanto a nivel individual como de conjunto, en cuanto a presiones no uniformes. Se ha visto que la sensibilidad obtenida es buena, ya que hay mucha diferencia entre los valores resistivos obtenidos según las deformaciones aplicadas.

Así pues y para finalizar, se puede decir que, adaptando la hipótesis de evaluación a todos los escenarios, el artículo tiene un buen funcionamiento.

- Talla M

Como en la talla estudiada anteriormente, el primer paso para poder evaluar los resultados obtenidos de una manera metódica y ordenada, consiste en otorgar una nomenclatura y organización a los sensores dentro del contexto del cojín.

Como se ha visto anteriormente, en la talla M, el cojín dispone de dos matrices de 4x4 de sensores, siguiendo esta estructura matricial se le otorgará una nomenclatura a cada sensor con el objetivo de que se pueda situar fácilmente dentro del cojín y, se pueda emparejar con su homólogo.

De este modo, se ha decidido organizar los sensores según la posición que ocupa dentro las filas y las columnas de las matrices, quedando del siguiente modo:

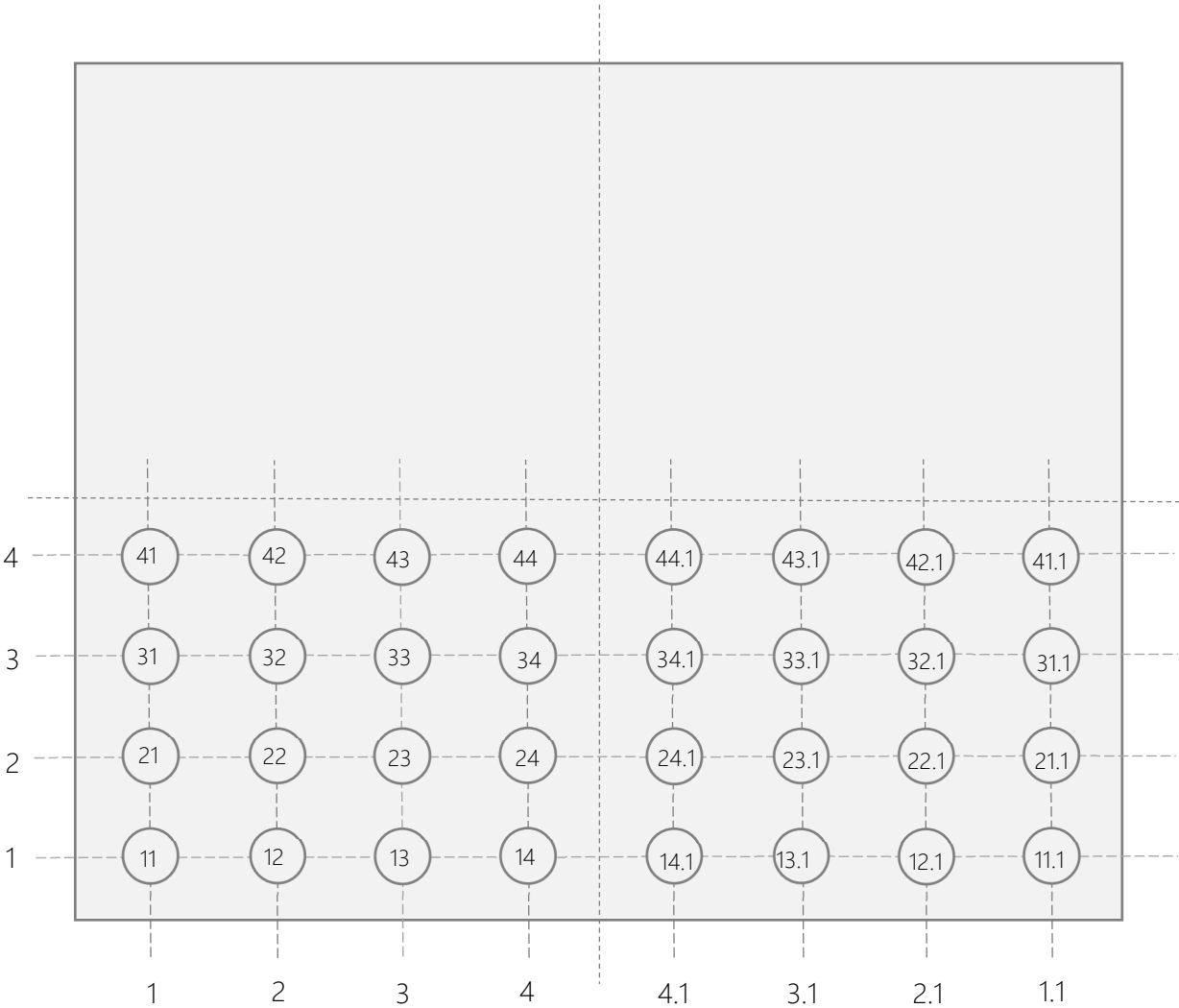


Figura 148. Esquema de la organización de los sensores en la talla M

Una vez establecida la nomenclatura de los sensores es momento de analizar los resultados de los dos tipos de simulación.

- Presión uniforme

En esta primera simulación y, como con la talla anterior, se han realizado 5 iteraciones, aumentando en 0.1 la deformación en cada iteración. Se ha seguido la misma hipótesis de deformación que en caso anterior, la deformación ocasionaría un aumento de longitud y la anchura, calculadas a partir de la propia deformación y, una reducción en el espesor, calculado con una comparación de volúmenes.

Siguiendo la metodología, se han realizado 5 iteraciones porque el valor final de la deformación corresponde a que el objeto se ha deformado la mitad de la longitud inicial, es decir, que ha aumentado sus dimensiones en un 50%, en cuanto a longitud y anchura. Se trata de una deformación a la que raramente llegará el sensor y, por este motivo se ha propuesto este límite.

A continuación, se muestran dos imágenes que ilustran la figura inicial, sin deformación y, la figura resultante final con deformación $\epsilon=0.5$:

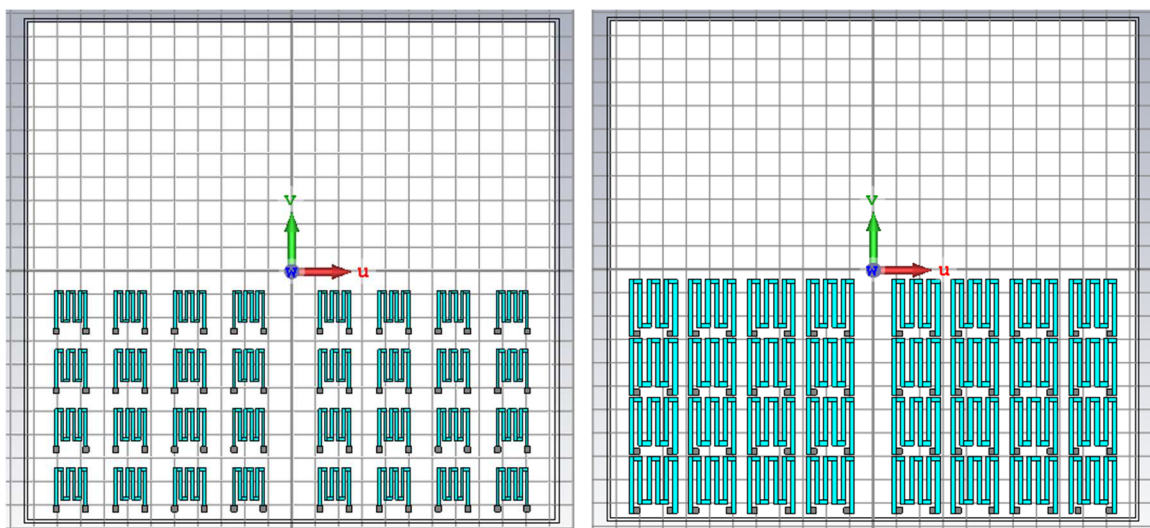


Figura 149. Figura sin deformación y con deformación máxima para la talla M

Se puede apreciar como el tamaño de los sensores ha aumentado debido a las deformaciones causadas por la presión.

Como se dice en apartados anteriores, se debería establecer una relación lineal entre la deformación y la resistencia, teóricamente. Para demostrar dicho hecho,

a continuación, se muestra una tabla con los valores obtenidos en las simulaciones de cada iteración:

Sensores	Deformaciones (ϵ)					
	Original	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
11	2120.04 Ω	2542.13 Ω	3040.13 Ω	3554.16 Ω	3990.84 Ω	3007.83 Ω
11.1	2119.60 Ω	2542.76 Ω	3037.61 Ω	3548.02 Ω	4006.11 Ω	909,.67 Ω
12	2119.71 Ω	2541.35 Ω	3037.55 Ω	3543.26 Ω	4011.03 Ω	3235.52 Ω
12.1	2116.05 Ω	2542.63 Ω	3039.02 Ω	3541.46 Ω	3978.60 Ω	1035.45 Ω
13	2119.69 Ω	2543.53 Ω	3035.87 Ω	3541.51 Ω	3938.82 Ω	1706.70 Ω
13.1	2120.16 Ω	2536.46 Ω	3033.40 Ω	3528.00 Ω	4031.02 Ω	2778.85 Ω
14	2115.39 Ω	2542.80 Ω	3035.11 Ω	3523.09 Ω	3940.80 Ω	1197.39 Ω
14.1	2120.04 Ω	2541.53 Ω	3034.81 Ω	3550.86 Ω	4075.57 Ω	1229.46 Ω
21	2120.06 Ω	2514.56 Ω	3007.93 Ω	3468.60 Ω	3774.84 Ω	4256.83 Ω
21.1	2120.01 Ω	2510.24 Ω	2995.61 Ω	3473.84 Ω	3845.68 Ω	4256.14 Ω
22	2112.36 Ω	2518.67 Ω	2989.40 Ω	3464.86 Ω	3801.76 Ω	1627.93 Ω
22.1	2115.79 Ω	2511.40 Ω	3014.65 Ω	3490.69 Ω	3748.30 Ω	1290.43 Ω
23	2116.10 Ω	2532.63 Ω	3005.23 Ω	3488.93 Ω	3594.34 Ω	1200.45 Ω
23.1	2112.65 Ω	2501.73 Ω	3002.13 Ω	3475.50 Ω	3707.66 Ω	1487.83 Ω
24	2119.39 Ω	2510.42 Ω	3001.46 Ω	3474.45 Ω	3635.18 Ω	1049.88 Ω
24.1	2118.82 Ω	2527.45 Ω	3016.96 Ω	3483.37 Ω	3827.87 Ω	1301.44 Ω
31	2120.75 Ω	2506.09 Ω	3014.27 Ω	3484.55 Ω	3961.57 Ω	4312.06 Ω
31.1	2116.25 Ω	2539.75 Ω	2998.11 Ω	3463.32 Ω	3180.44 Ω	4186.05 Ω

Sensores	Deformaciones (ϵ)					
	Original	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
32	2112.56 Ω	2521.52 Ω	3005.28 Ω	3469.85 Ω	3699.00 Ω	1759.23 Ω
32.1	2119.40 Ω	2508.85 Ω	3001.99 Ω	3476.83 Ω	3678.02 Ω	1113.70 Ω
33	2114.12 Ω	2529.69 Ω	2994.78 Ω	3482.13 Ω	3756.00 Ω	1072.03 Ω
33.1	2114.28 Ω	2513.58 Ω	3006.61 Ω	3494.31 Ω	3846.91 Ω	1948.19 Ω
34	2119.61 Ω	2521.55 Ω	3005.14 Ω	3487.34 Ω	3881.38 Ω	1547.52 Ω
34.1	2119.35 Ω	2525.93 Ω	3011.74 Ω	3489.00 Ω	3752.80 Ω	1142.15 Ω
41	2120.78 Ω	2535.87 Ω	3025.87 Ω	3526.62 Ω	4077.25 Ω	4396.45 Ω
41.1	2120.18 Ω	2518.61 Ω	3011.15 Ω	3526.70 Ω	3719.58 Ω	4257.98 Ω
42	2118.07 Ω	2519.27 Ω	3014.80 Ω	3516.12 Ω	3926.64 Ω	1779.43 Ω
42.1	2119.23 Ω	2524.62 Ω	3019.98 Ω	3505.55 Ω	3860.59 Ω	1023.74 Ω
43	2118.87 Ω	2517.37 Ω	3023.32 Ω	3517.94 Ω	4029.94 Ω	1154.43 Ω
43.1	2118.92 Ω	2535.60 Ω	3008.83 Ω	3521.29 Ω	3964.14 Ω	1468.03 Ω
44	2119.13 Ω	2534.37 Ω	3011.02 Ω	3491.81 Ω	4011.56 Ω	1739.91 Ω
44.1	2117.57 Ω	2508.50 Ω	3024.65 Ω	3534.08 Ω	3981.79 Ω	1334.12 Ω
\bar{x}	2117.97 Ω	2525.67 Ω	3015.76 Ω	3504.31 Ω	3851.13 Ω	2056.45 Ω
CV	0.1213%	0.5198%	0.4918%	0.8246%	4.7399%	59.0627%

Tabla 18. Resultados de los sensores para la talla M

Como se puede apreciar, el coeficiente de variación es muy bajo en todos los casos excepto en la última iteración; este suceso puede ser debido a algún fallo en el momento de la preparación de la simulación para la última iteración; por este motivo, se excluirá este dato del resto del análisis.

Para mostrar de un modo más visual la relación entre la deformación y el cambio de resistencia se ha generado un gráfico. Se ha hecho uso de una regresión lineal para obtener la ecuación de la recta que define la relación entre deformación y cambio de resistencia, a partir de la media calculada:

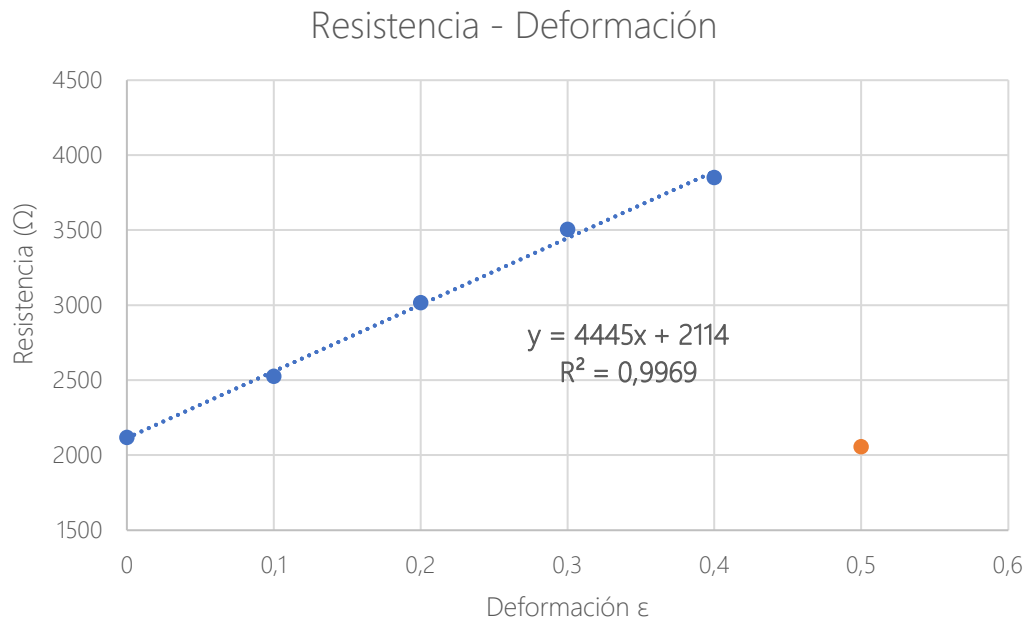


Figura 150. Gráfico resistencia-deformación para la talla M

Como se puede observar, sí existe una relación lineal entre la deformación y la resistencia de los sensores, de modo que, mediante este ensayo, se verifica el correcto funcionamiento del cojín.

Para terminar de demostrar que la relación planteada por la fórmula 5, que relaciona la deformación y la resistencia se cumple, se muestra otra gráfica que enfrenta el incremento de la resistencia respecto a la resistencia inicial contra la deformación, siempre extrayendo los datos de la media calculada. Quedando de este modo:

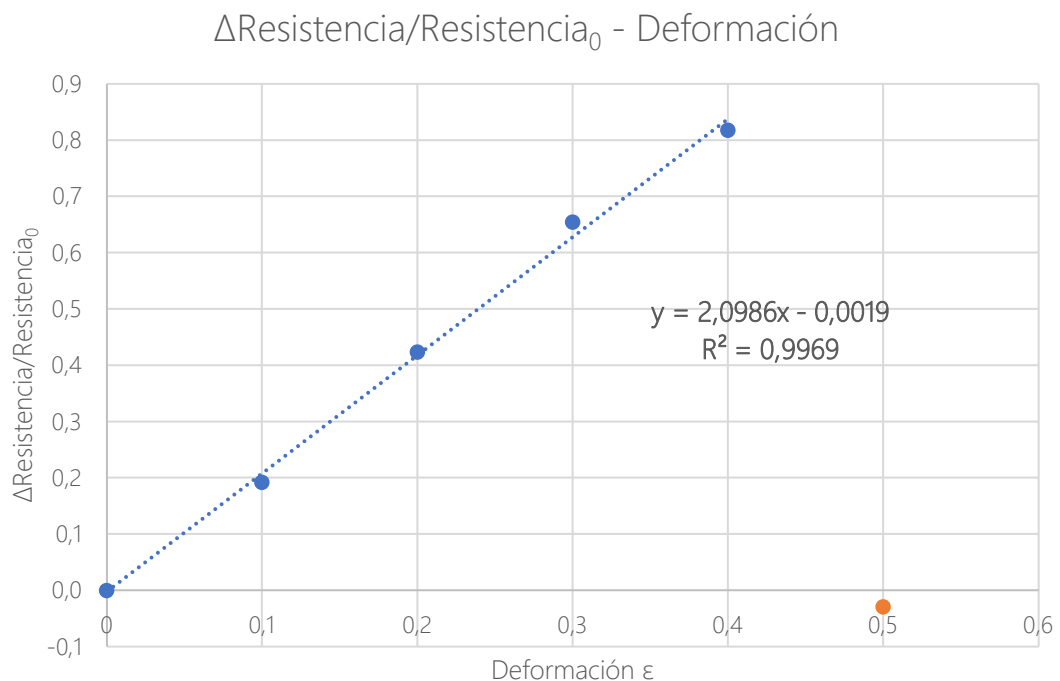


Figura 151. Gráfico aumento resistencia-deformación para la talla M

En este caso también se ha hecho uso de una regresión lineal para extraer la ecuación de la recta. Como se puede ver y, como en el gráfico anterior, se mantiene la relación lineal entre resistencia y deformación, comprobando el buen funcionamiento del producto mediante el cumplimiento de la fórmula que relaciona estos dos conceptos.

Una vez finalizadas todas las simulaciones de presión uniforme, es momento de sacar los insights de este estudio.

En primer lugar y, como justo se acaba de decir, se puede dictaminar que los sensores funcionan, tanto individualmente como en conjunto, como ha sucedido en la talla estudiada anteriormente. Esta afirmación se respalda en dos pilares básicos. Por un lado, se ha visto que, en todos los ensayos realizados, se obtiene un coeficiente de variación muy bajo, exceptuando los datos de la última

iteración, debido a algún error en la programación de la simulación; por este motivo no se han considerado en el análisis de los resultados.

El hecho de obtener un CV bajo se puede traducir como que las lecturas obtenidas de cada sensor son muy parecidas entre ellas, probando de este modo, que no existen interferencias entre los sensores y, que pueden actuar como un conjunto.

Por el otro lado, se ha demostrado que se mantiene la linealidad en la relación entre la deformación y la resistencia, en todos los casos. Verificando de nuevo, la fórmula que entabla la base del funcionamiento del sensor resistivo de presión, además de poder extrapolarlo al conjunto de sensores.

En este caso, también se han obviado los resultados de la última iteración.

En segundo lugar, se ha comprobado la viabilidad del cojín gracias a que los sensores pueden actuar juntos y como conjunto. Al no causar interferencias ni malfuncionamientos entre ellos se puede entender que el producto final tiene un buen funcionamiento.

Como con la talla anterior, se dictamina que el producto funciona.

- Presión no uniforme

En este apartado, se analizarán los distintos escenarios de presiones no uniformes comentados anteriormente.

Con el objetivo de mostrar los resultados de forma clara y ordenada se ha recurrido a la realización de una tabla que contenga los valores de resistencia de cada sensor para cada escenario.

Sensores	Presiones no uniformes											
	Norte (N)			Sur (S)			Este (E)			Oeste (W)		
	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ
11	0.1	2544.90	0.27%	0.5	4399.32	0.12%	0.1	2545.46	72.95%	0.5	4388.65	72.72%
11.1	0.1	2538.07		0.5	4394.17		0.5	4402.40		0.1	2540.84	
12	0.1	2539.25	0.16%	0.5	4417.50	0.07%	0.1	2541.71	72.54%	0.5	4415.19	73.71%
12.1	0.1	2543.33		0.5	4414.37		0.5	4385.37		0.1	2541.66	
13	0.1	2540.27	0.02%	0.5	4414.60	0.15%	0.2	3036.05	26.30%	0.4	3850.42	26.74%
13.1	0.1	2540.80		0.5	4408.19		0.4	3834.63		0.2	3038.10	
14	0.1	2535.67	0.22%	0.5	4401.71	0.34%	0.2	3036.67	26.30%	0.4	3844.74	26.93%
14.1	0.1	2541.30		0.5	4416.83		0.4	3844.33		0.2	3029.14	
21	0.2	2972.92	0.39%	0.4	3753.98	0.51%	0.1	2519.57	68.21%	0.5	4268.11	70.25%
21.1	0.2	2961.39		0.4	3734.79		0.5	4238.12		0.1	2506.91	
22	0.2	2979.23	0.18%	0.4	3743.54	0.23%	0.1	2521.78	66.71%	0.5	4259.47	69.62%
22.1	0.2	2984.71		0.4	3752.07		0.5	4203.95		0.1	2511.21	
23	0.2	2986.53	0.40%	0.4	3721.56	0.59%	0.2	3015.85	24.53%	0.4	3781.67	26.04%

Sensores	Presiones no uniformes											
	Norte (N)			Sur (S)			Este (E)			Oeste (W)		
	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ
23.1	0.2	2974.54		0.4	3743.59		0.4	3755.56		0.2	3000.47	
24	0.2	2971.52	0.65%	0.4	3749.47	0.30%	0.2	3000.90	25.71%	0.4	3748.99	24.40%
24.1	0.2	2981.97		0.4	3738.27		0.4	3772.53		0.2	3013.71	
31	0.4	3987.63	2.02%	0.2	3012.20	0.73%	0.1	2524.70	68.21%	0.5	4293.68	70.74%
31.1	0.4	3908.52		0.2	2990.34		0.5	4246.76		0.1	2514.71	
32	0.4	3908.99	1.14%	0.2	2998.30	0.16%	0.1	2530.63	67.17%	0.5	4217.12	67.01%
32.1	0.4	3953.57		0.2	2993.40		0.5	4230.54		0.1	2525.04	
33	0.4	3952.52	0.40%	0.2	2990.66	0.07%	0.2	3001.87	26.00%	0.4	3761.98	25.25%
33.1	0.4	3968.39		0.2	2992.86		0.4	3782.34		0.2	3003.64	
34	0.4	3979.58	1.10%	0.2	2998.19	0.12%	0.2	2991.56	26.07%	0.4	3740.83	24.09%
34.1	0.4	3936.43		0.2	3001.88		0.4	3771.33		0.2	3014.67	
41	0.5	4385.91	2.72%	0.1	2532.56	0.15%	0.1	2536.32	69.00%	0.5	4378.37	73.32%
41.1	0.5	4269.96		0.1	2536.37		0.5	4286.30		0.1	2526.18	
42	0.5	974,99	35.47%	0.1	2532.74	0.04%	0.1	2532.92	69.30%	0.5	4253.90	68.35%

Sensores	Presiones no uniformes											
	Norte (N)			Sur (S)			Este (E)			Oeste (W)		
	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ
42.1	0.5	1320.30		0.1	2533.76		0.5	4288.18		0.1	2526.87	
43	0.5	1086.52	17.96%	0.1	2533.26	0.41%	0.2	3002.93	25.95%	0.4	3803.03	26.41%
43.1	0.5	921,.81		0.1	2522.95		0.4	3782.13		0.2	3008.50	
44	0.5	1293.63	12.19%	0.1	2535.99	0.13%	0.2	3024.91	26.24%	0.4	3797.25	25.59%
44.1	0.5	1153.05		0.1	2539.18		0.4	3818.56		0.2	3023.49	

Tabla 19. Resultados de las deformaciones principales para la talla M

Sensores	Presiones no uniformes											
	Noreste (NE)			Noroeste (NW)			Sureste (SE)			Suroeste (SW)		
	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ
11	0.1	2546.07	73.75%	0.5	4420.19	73.93%	0.1	2545.04	72.26%	0.5	4401.28	73.18%
11.1	0.5	4423.70		0.1	2541.29		0.5	4384.06		0.1	2541.41	
12	0.1	2541.12	39.69%	0.3	3552.44	39.81%	0.3	3548.72	23.43%	0.5	4391.41	23.62%
12.1	0.3	3549.59		0.1	2540.87		0.5	4380.08		0.3	3552.44	
13	0.1	2547.12	39.05%	0.3	3559.80	40.05%	0.3	3554.82	23.66%	0.5	4406.95	24.11%
13.1	0.3	3541.68		0.1	2541.80		0.5	4396.06		0.3	3550.83	
14	0.1	2540.93	40.19%	0.3	3550.47	39.86%	0.3	3547.39	25.06%	0.5	4415.23	24.04%
14.1	0.3	3562.07		0.1	2538.50		0.5	4436.29		0.3	3559.44	
21	0.1	2522.98	69.40%	0.5	4242.66	68.10%	0.1	2510.43	67.04%	0.5	4262.26	69.20%
21.1	0.5	4273.95		0.1	2523.86		0.5	4193.35		0.1	2519.08	
22	0.1	2505.59	72.04%	0.5	4276.38	69.01%	0.1	2510.27	66.76%	0.5	4221.24	67.11%
22.1	0.5	4310.67		0.1	2530.21		0.5	4186.08		0.1	2526.07	
23	0.1	2524.00	37.48%	0.3	3495.13	39.20%	0.3	3490.90	21.19%	0.5	4290.10	23.60%

Sensores	Presiones no uniformes											
	Noreste (NE)			Noroeste (NW)			Sureste (SE)			Suroeste (SW)		
	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ
23.1	0.3	3470.03		0.1	2510.79		0.5	4255.86		0.3	3471.04	
24	0.3	3470.55	1.23%	0.3	3489.90	0.03%	0.3	3482.84	6.72%	0.3	3237.59	8.19%
24.1	0.3	3513.10		0.3	3491.12		0.3	3263.48		0.3	3502.66	
31	0.1	2531.28	65.12%	0.5	4285.83	69.99%	0.1	2525.45	65.14%	0.5	4281.61	69.22%
31.1	0.5	4179.69		0.1	2521.24		0.5	4170.41		0.1	2530.24	
32	0.1	2510.97	69.38%	0.5	4221.43	67.38%	0.1	2526.03	69.08%	0.5	4242.82	68.26%
32.1	0.5	4253.06		0.1	2522.08		0.5	4271.14		0.1	2521.56	
33	0.3	3489.35	23.21%	0.5	4246.36	21.17%	0.1	2512.77	29.39%	0.3	3277.47	29.81%
33.1	0.5	4299.39		0.3	3504.35		0.3	3251.29		0.1	2524.80	
34	0.3	3474.50	0.73%	0.3	3479.00	0.45%	0.3	3492.13	0.35%	0.3	3429.73	1.45%
34.1	0.3	3499.82		0.3	3494.70		0.3	3479.78		0.3	3479.55	
41	0.1	2534.94	68.23%	0.5	4370.91	73.08%	0.1	2537.56	69.82%	0.5	4384.86	72.67%
41.1	0.5	4264.48		0.1	2525.32		0.5	4309.29		0.1	2539.40	
42	0.3	3473.72	24.06%	0.5	4329.03	24.43%	0.1	2520.92	30.95%	0.3	3229.48	27.83%

Sensores	Presiones no uniformes											
	Noreste (NE)			Noroeste (NW)			Sureste (SE)			Suroeste (SW)		
	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ
42.1	0.5	4309.58		0.3	3479.21		0.3	3301.14		0.1	2526.36	
43	0.3	3524.59	23.38%	0.5	4350.71	23.81%	0.1	2530.93	38.51%	0.3	3524.30	39.66%
43.1	0.5	4348.60		0.3	3514.00		0.3	3505.55		0.1	2523.44	
44	0.3	3520.10	23.60%	0.5	4346.91	23.22%	0.1	2517.51	39.90%	0.3	3468.27	37.45%
44.1	0.5	4350.79		0.3	3527.69		0.3	3522.11		0.1	2523.31	

Tabla 20. Resultados para las deformaciones secundarias para la talla M

Como se puede ver, aparte de presentar los datos de resistencia, también se muestra la deformación aplicada en cada caso y, una comparación relativa de la diferencia de resistencia entre los sensores homólogos.

Como en la talla anterior, para realizar el cálculo de la diferencia relativa, se ha tomado como referencia siempre el valor más pequeño de los dos. Se ha dictaminado también que, una diferencia mayor al 30% es el límite para considerar el desequilibrio como potencialmente peligroso si se prolonga en el tiempo.

Se puede ver claramente que, en la mayoría de los escenarios planteados, existe riesgo potencial de lesión, si se prolonga en el tiempo. Sin embargo, y como viene siendo tónica, hay dos escenarios en que estas directrices de análisis no funcionan; es el caso de los escenarios norte y sur. El problema es que el análisis se lleva a cabo mediante la comparación de los sensores a lado y lado del eje vertical de simetría del cojín y, con este tipo de presiones no uniformes, las deformaciones se producen a lo largo de este eje y, por igual en cada lado.

Por este motivo, se puede aplicar la misma solución que en el caso anterior, se debería añadir un sistema de análisis para cubrir estos casos. Dicho sistema podría basarse en la comparación de los sensores de la primera fila con los de la última y, fijando un porcentaje mínimo de diferencia relativa, se podría saber si el usuario se encuentra en una posición de riesgo.

A parte de las tablas presentadas anteriormente, también se han generado unos gráficos que ilustran la información contenida en las tablas para cada escenario.

Dichos gráficos pueden asemejarse a una distribución de presiones 3D, ya que los ejes X y Y, corresponden al sistema de posicionamiento de los sensores (filas y columnas), mientras que el eje Z refleja la resistencia obtenida en cada caso.

Así pues, a continuación, se mostrarán los gráficos mencionados para cada escenario:

Para el escenario norte, donde las presiones presentan una basculación del peso hacia adelante se ha obtenido la siguiente distribución:

Deformación no uniforme - N

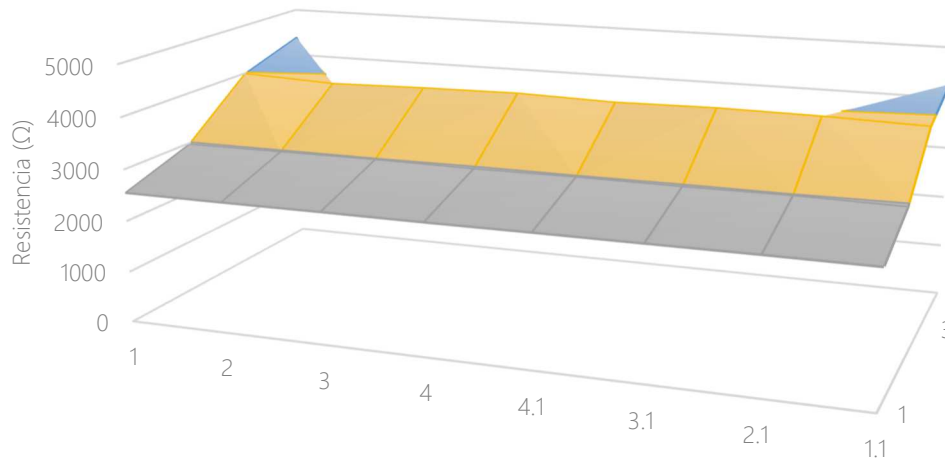


Figura 152. Distribución de resistencias para la deformación Norte en la talla M

Se puede apreciar la pendiente creciente que presenta la distribución, donde los valores más elevados se sitúan lo más alejados del borde inferior. En este caso, se observa que también hubo algún problema en la simulación de las deformaciones más elevadas, ya que no reflejan las presiones que deberían.

Para el escenario sur, donde las presiones presentan una basculación del peso hacia atrás se ha obtenido la siguiente distribución:

Deformación no uniforme - S

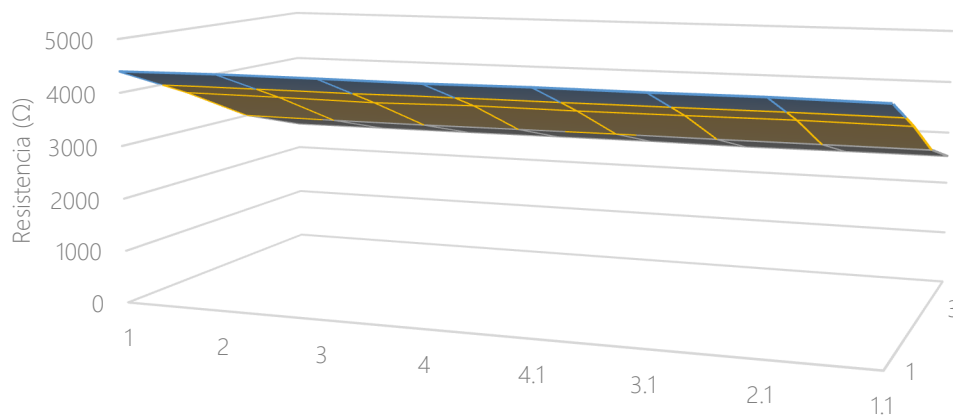


Figura 153. Distribución de resistencias para la deformación Sur en la talla M

Se puede apreciar la pendiente decreciente que presenta la distribución, donde los valores más elevados se sitúan lo más cerca del borde inferior.

Para el escenario este, donde las presiones presentan una basculación del peso hacia la derecha se ha obtenido la siguiente distribución:

Deformación no uniforme - E

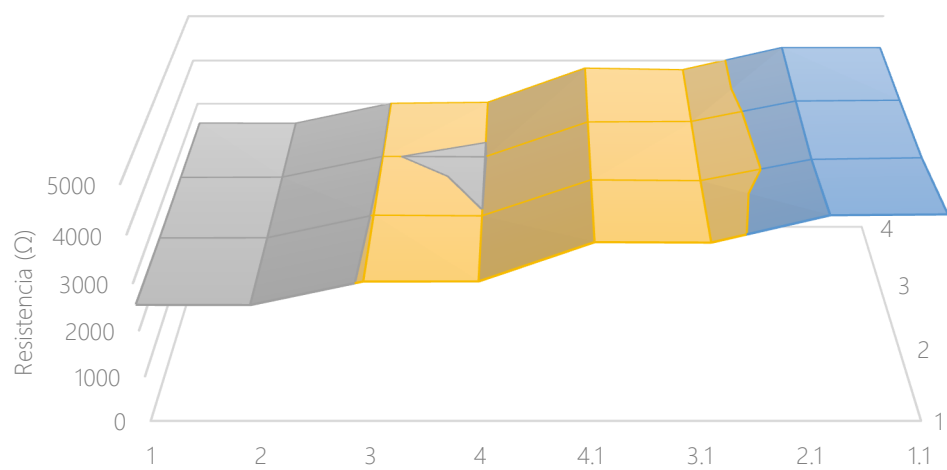


Figura 154. Distribución de resistencias para la deformación Este en la talla M

Se puede apreciar la pendiente creciente hacia la derecha que presenta la distribución, donde los valores más elevados se sitúan lo más cerca del borde derecho.

Para el escenario oeste, donde las presiones presentan una basculación del peso hacia la izquierda se ha obtenido la siguiente distribución:

Deformación no uniforme - W

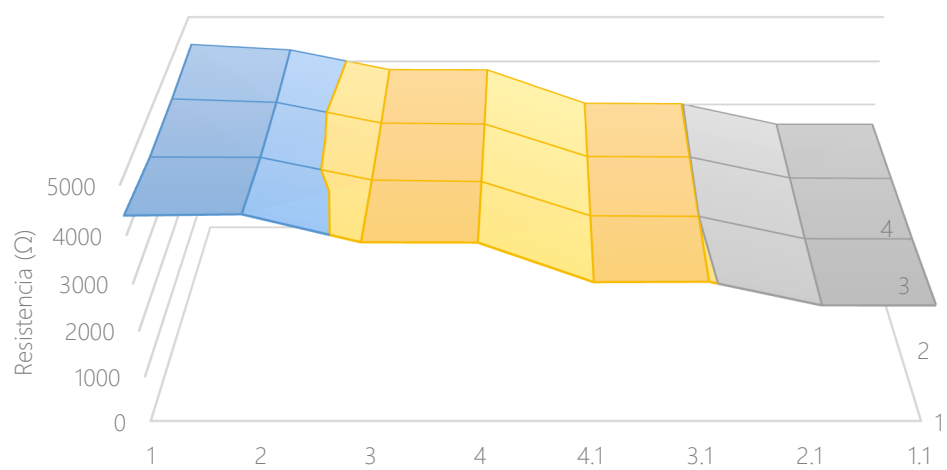


Figura 155. Distribución de resistencias para la deformación Oeste en la talla M

Se puede apreciar la pendiente creciente hacia la izquierda que presenta la distribución, donde los valores más elevados se sitúan lo más cerca del borde izquierdo.

Para el escenario noreste, donde las presiones presentan una basculación del peso hacia adelante y a la derecha se ha obtenido la siguiente distribución:

Deformación no uniforme - NE

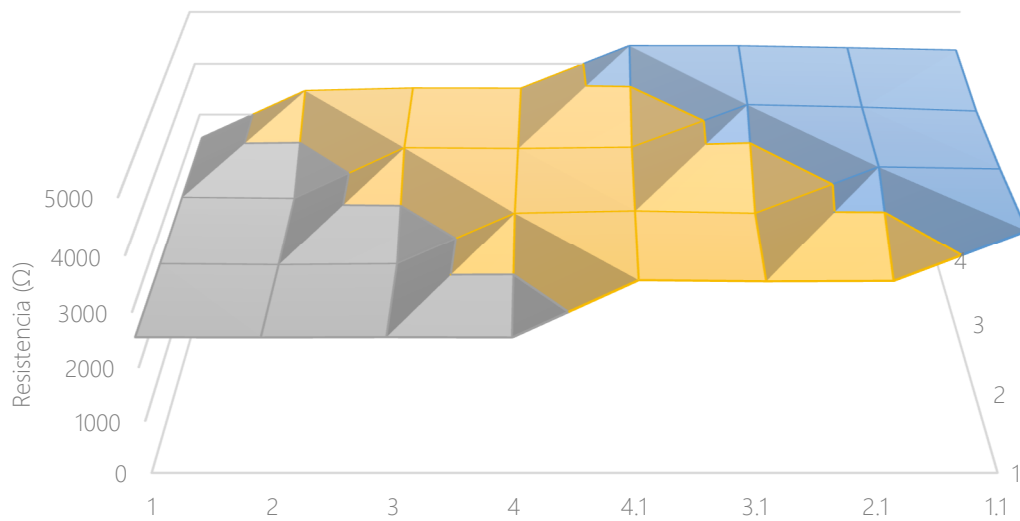


Figura 156. Distribución de resistencias para la deformación Noreste en la talla M

Se puede apreciar la pendiente creciente hacia adelante y a la derecha que presenta la distribución, donde los valores más elevados se sitúan lo más cerca del borde superior derecho.

Para el escenario noroeste, donde las presiones presentan una basculación del peso hacia adelante y a la izquierda se ha obtenido la siguiente distribución:

Deformación no uniforme - NW

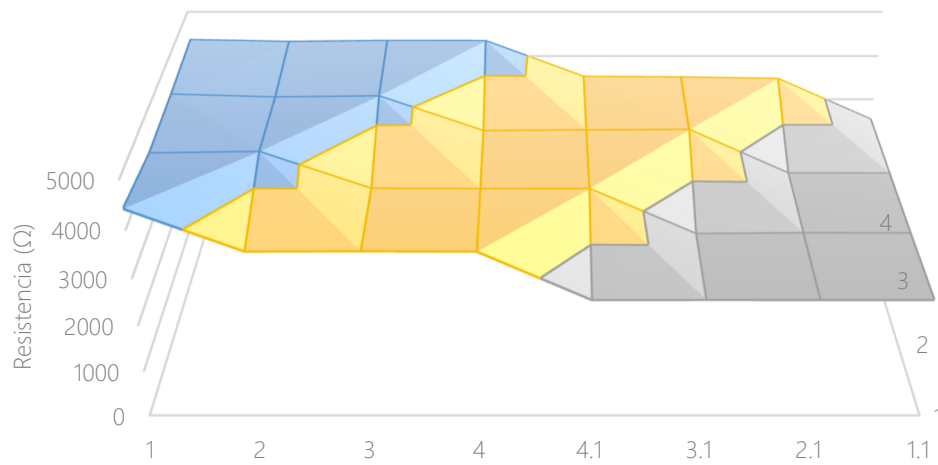


Figura 157. Distribución de resistencias para la deformación Noroeste en la talla M

Se puede apreciar la pendiente creciente hacia adelante y a la izquierda que presenta la distribución, donde los valores más elevados se sitúan lo más cerca del borde superior izquierdo.

Para el escenario sureste, donde las presiones presentan una basculación del peso hacia atrás y a la derecha se ha obtenido la siguiente distribución:

Deformación no uniforme - SE

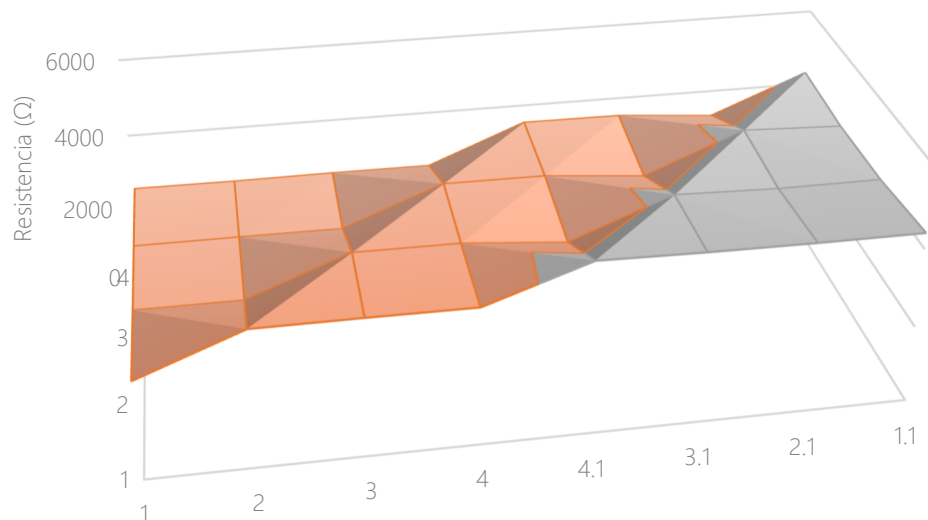


Figura 158. Distribución de resistencias para la deformación Sureste en la talla M

Se puede apreciar la pendiente creciente hacia atrás y a la derecha que presenta la distribución, donde los valores más elevados se sitúan lo más cerca del borde inferior derecho.

Para el escenario suroeste, donde las presiones presentan una basculación del peso hacia atrás y a la izquierda se ha obtenido la siguiente distribución:

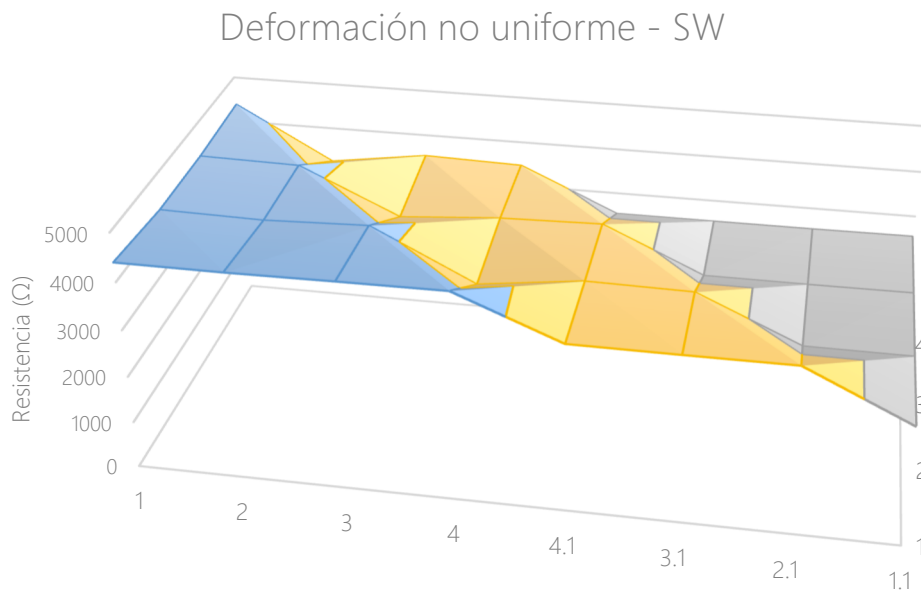


Figura 159. Distribución de resistencias para la deformación Suroeste en la talla M

Se puede apreciar la pendiente creciente hacia atrás y a la izquierda que presenta la distribución, donde los valores más elevados se sitúan lo más cerca del borde inferior izquierdo.

Una vez finalizadas todas las simulaciones de presión no uniforme, es momento de sacar los insights de este estudio.

Se puede afirmar que se ha cumplido el objetivo básico y principal de este tipo de simulaciones que, consistía en evaluar si la hipótesis de evaluación de malas posturas a partir del equilibrio entre los sensores homólogos podía o no satisfacer todas las casuísticas planteadas.

Como ya se ha dicho anteriormente y como en la talla anterior, hay dos escenarios en que este sistema de evaluación falla, son aquellas en que la basculación del peso sigue la misma dirección que el eje de simetría. En estos casos, la evaluación de sensores a lado y lado de dicho eje no aporta la información necesaria para detectar malas posturas.

Una posible solución es la misma que la encontrada para la talla anterior, consiste en la implementación de otros parámetros de evaluación que consideren los ejes horizontales a parte del vertical. De este modo se podría evaluar las presiones en las distintas filas de las matrices de sensores.

En cuanto al resto de casuísticas, el sistema de evaluación funciona perfectamente.

Es importante mencionar que ha habido algún problema en la simulación norte, ya que los resultados no han sido los esperados. Se otorga dicho error a algún fallo al programar la simulación, no al funcionamiento del cojín.

Cabe recalcar también el buen funcionamiento de los sensores, tanto a nivel individual como de conjunto, en cuanto a presiones no uniformes, obviando la simulación norte. Se ha visto que la sensibilidad obtenida es buena, ya que hay mucha diferencia entre los valores resistivos obtenidos según las deformaciones aplicadas.

Así pues y para finalizar, se puede decir que, adaptando la hipótesis de evaluación a todos los escenarios, el artículo tiene un buen funcionamiento.

- Talla L

Como en las tallas estudiadas anteriormente, el primer paso para poder evaluar los resultados obtenidos de una manera metódica y ordenada, consiste en otorgar una nomenclatura y organización a los sensores dentro del contexto del cojín.

Como se ha visto anteriormente, en la talla L, el cojín dispone de dos matrices de 4x4 de sensores, siguiendo esta estructura matricial se le otorgará una nomenclatura a cada sensor con el objetivo de que se pueda situar fácilmente dentro del cojín y, se pueda emparejar con su homólogo.

De este modo, se ha decidido organizar los sensores según la posición que ocupa dentro las filas y las columnas de las matrices, quedando del siguiente modo:

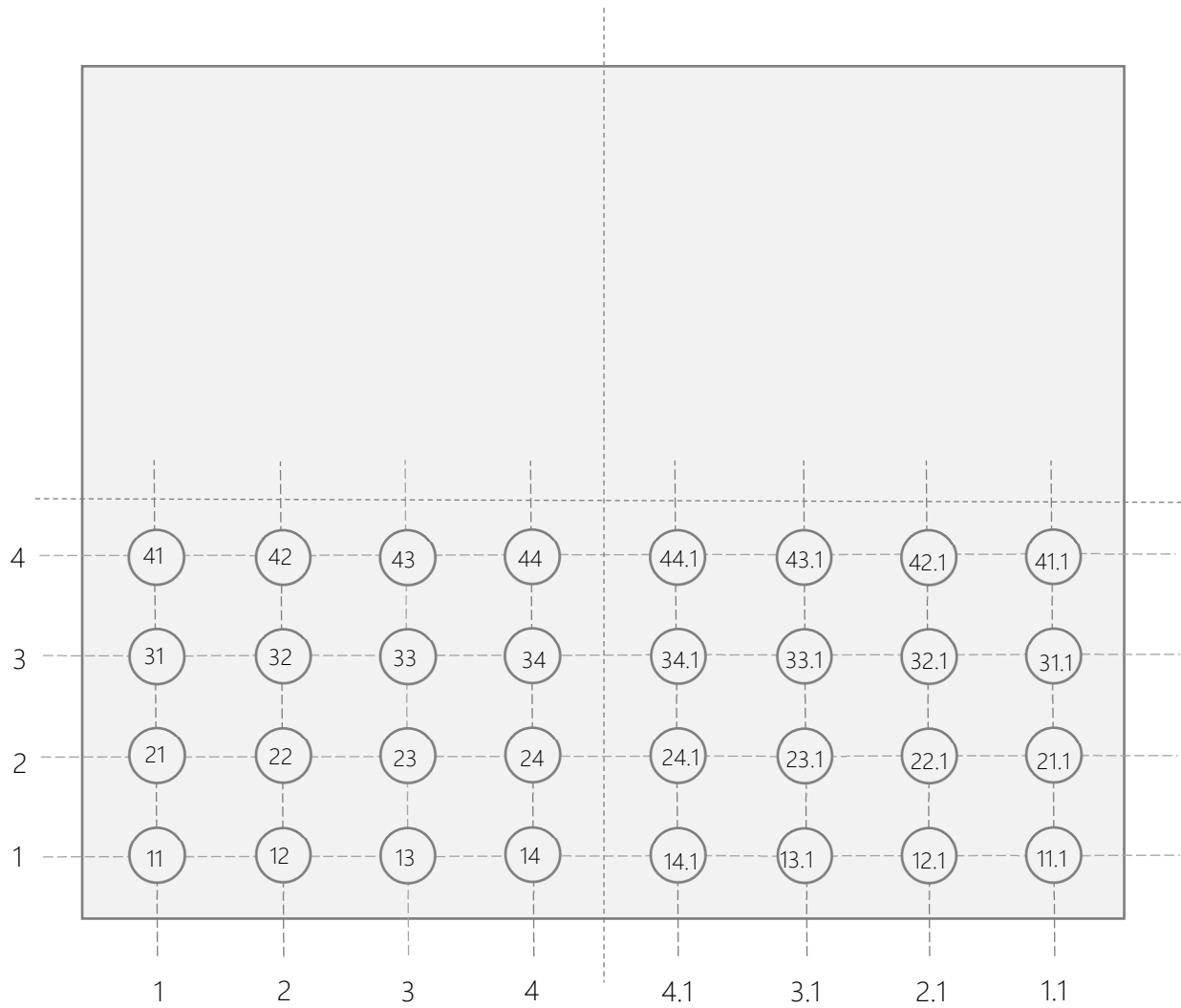


Figura 160. Esquema de la distribución de los sensores en la talla L

Una vez establecida la nomenclatura de los sensores es momento de analizar los resultados de los dos tipos de simulación.

- Presión uniforme

En esta primera simulación y, como con las tallas anteriores, se han realizado 5 iteraciones, aumentando en 0.1 la deformación en cada iteración. Se ha seguido la misma hipótesis de deformación que en los casos anteriores, la deformación ocasionaría un aumento de longitud y la anchura, calculadas a partir de la propia deformación y, una reducción en el espesor, calculado con una comparación de volúmenes.

Siguiendo la metodología, se han realizado 5 iteraciones porque el valor final de la deformación corresponde a que el objeto se ha deformado la mitad de la longitud inicial, es decir, que ha aumentado sus dimensiones en un 50%, en

cuanto a longitud y anchura. Se trata de una deformación a la que raramente llegará el sensor y, por este motivo se ha propuesto este límite.

A continuación, se muestran dos imágenes que ilustran la figura inicial, sin deformación y, la figura resultante final con deformación $\epsilon=0.5$:

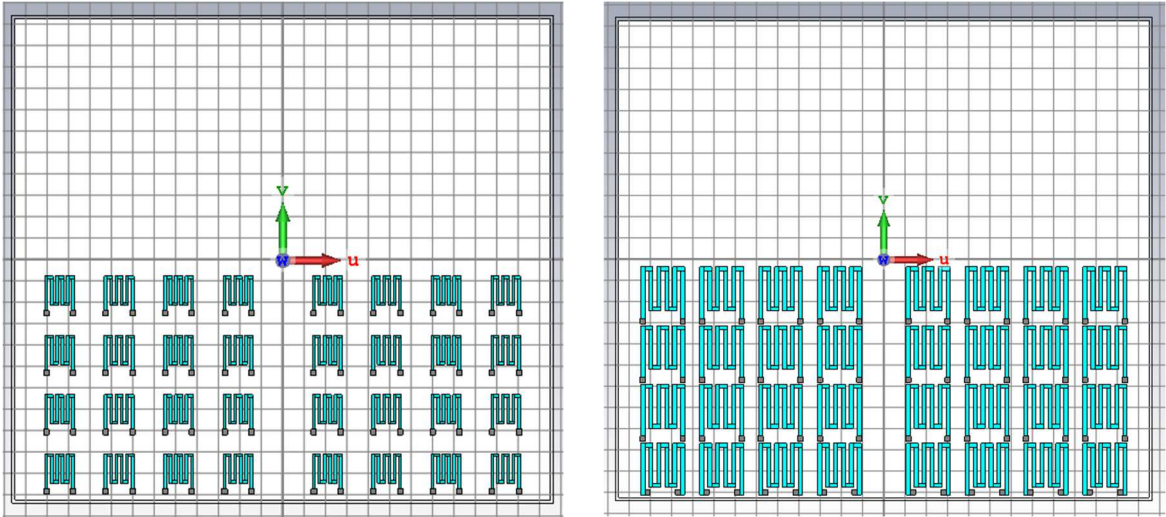


Figura 161. Figura sin deformación y con deformación máxima en la talla L

Se puede apreciar como el tamaño de los sensores ha aumentado debido a las deformaciones causadas por la presión.

Como se dice en apartados anteriores, se debería establecer una relación lineal entre la deformación y la resistencia, teóricamente. Para demostrar dicho hecho, a continuación, se muestra una tabla con los valores obtenidos en las simulaciones de cada iteración:

Sensores	Deformaciones (ϵ)					
	Original	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
11	2119.31 Ω	2539.56 Ω	3037.03 Ω	3559.24 Ω	3860.78 Ω	4425.88 Ω
11.1	2115.73 Ω	2538.87 Ω	3038.96 Ω	3545.25 Ω	3854.54 Ω	4416.06 Ω
12	2119.56 Ω	2538.17 Ω	3029.50 Ω	3560.02 Ω	3847.87 Ω	4426.13 Ω
12.1	2119.01 Ω	2543.09 Ω	3036.21 Ω	3560.27 Ω	3861.07 Ω	4408.64 Ω
13	2119.54 Ω	2543.39 Ω	3040.31 Ω	3555.89 Ω	3860.33 Ω	4419.65 Ω

Sensores	Deformaciones (ϵ)					
	Original	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
13.1	2119.66 Ω	2535.99 Ω	3035.06 Ω	3555.11 Ω	3847.46 Ω	4421.32 Ω
14	2114.65 Ω	2540.94 Ω	3035.02 Ω	3558.94 Ω	3855.50 Ω	4404.74 Ω
14.1	2120.09 Ω	2543.41 Ω	3037.26 Ω	3561.95 Ω	3840.82 Ω	4417.95 Ω
21	2118.58 Ω	2522.56 Ω	3007.46 Ω	3504.78 Ω	3968.80 Ω	4540.36 Ω
21.1	2119.69 Ω	2521.65 Ω	3014.86 Ω	3492.40 Ω	4020.00 Ω	4515.37 Ω
22	2114.93 Ω	2510.52 Ω	3009.12 Ω	3518.40 Ω	4027.62 Ω	4444.74 Ω
22.1	2115.79 Ω	2527.03 Ω	3014.32 Ω	3533.64 Ω	4044.96 Ω	4494.64 Ω
23	2119.85 Ω	2525.76 Ω	3024.58 Ω	3526.56 Ω	4037.17 Ω	4529.04 Ω
23.1	2119.34 Ω	2513.16 Ω	3000.01 Ω	3497.37 Ω	4015.17 Ω	4444.82 Ω
24	2117.38 Ω	2528.33 Ω	3020.40 Ω	3519.67 Ω	4035.44 Ω	4434.59 Ω
24.1	2117.11 Ω	2524.22 Ω	3018.07 Ω	3544.68 Ω	4018.08 Ω	4477.65 Ω
31	2120.20 Ω	2527.61 Ω	3022.03 Ω	3522.05 Ω	3982.14 Ω	4568.24 Ω
31.1	2116.18 Ω	2519.92 Ω	3006.96 Ω	3520.49 Ω	4025.41 Ω	4457.23 Ω
32	2119.59 Ω	2525.43 Ω	3001.73 Ω	3510.71 Ω	4010.40 Ω	4316.98 Ω
32.1	2120.29 Ω	2511.74 Ω	3001.99 Ω	3527.27 Ω	3991.17 Ω	4371.12 Ω
33	2117.76 Ω	2519.94 Ω	3005.92 Ω	3520.12 Ω	4015.02 Ω	4477.35 Ω
33.1	2114.28 Ω	2524.01 Ω	3002.56 Ω	3500.67 Ω	4016.24 Ω	4371.55 Ω
34	2118.98 Ω	2529.66 Ω	3012.47 Ω	3524.06 Ω	4001.95 Ω	4459.51 Ω
34.1	2117.50 Ω	2522.45 Ω	3023.96 Ω	3524.35 Ω	4033.60 Ω	4486.86 Ω
41	2119.63 Ω	2543.41 Ω	3029.65 Ω	3547.59 Ω	4071.18 Ω	4643.89 Ω

Sensores	Deformaciones (ϵ)					
	Original	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
41.1	2117.91 Ω	2516.27 Ω	3020.81 Ω	3534.74 Ω	4075.25 Ω	4507.36 Ω
42	2119.96 Ω	2509.83 Ω	3022.27 Ω	3542.50 Ω	4050.48 Ω	4572.69 Ω
42.1	2119.03 Ω	2504.49 Ω	3032.02 Ω	3527.67 Ω	4037.49 Ω	4492.47 Ω
43	2119.68 Ω	2514.51 Ω	3021.16 Ω	3547.73 Ω	4053.35 Ω	4534.77 Ω
43.1	2117.68 Ω	2513.32 Ω	3000.91 Ω	3527.36 Ω	4046.30 Ω	4470.28 Ω
44	2115.83 Ω	2511.41 Ω	3010.05 Ω	3497.93 Ω	3972.03 Ω	4552.86 Ω
44.1	2119.25 Ω	2522.20 Ω	3019.19 Ω	3537.19 Ω	4033.10 Ω	4599.37 Ω
\bar{x}	2118.25 Ω	2525.41 Ω	3019.75 Ω	3531.46 Ω	3981.59 Ω	4472.01 Ω
CV	0.0851%	0.4556%	0.4222%	0.5809%	1.9807%	1.6045%

Tabla 21. Resultados de las deformaciones para la talla L

Como se puede apreciar, el coeficiente de variación es muy bajo en todos los casos, confirmando la hipótesis de que la irregularidad surgida en el caso anterior proviene de un error en la programación y no de un malfuncionamiento del producto.

Para mostrar de un modo más visual la relación entre la deformación y el cambio de resistencia se ha generado un gráfico. Se ha hecho uso de una regresión lineal para obtener la ecuación de la recta que define la relación entre deformación y cambio de resistencia, a partir de la media calculada:

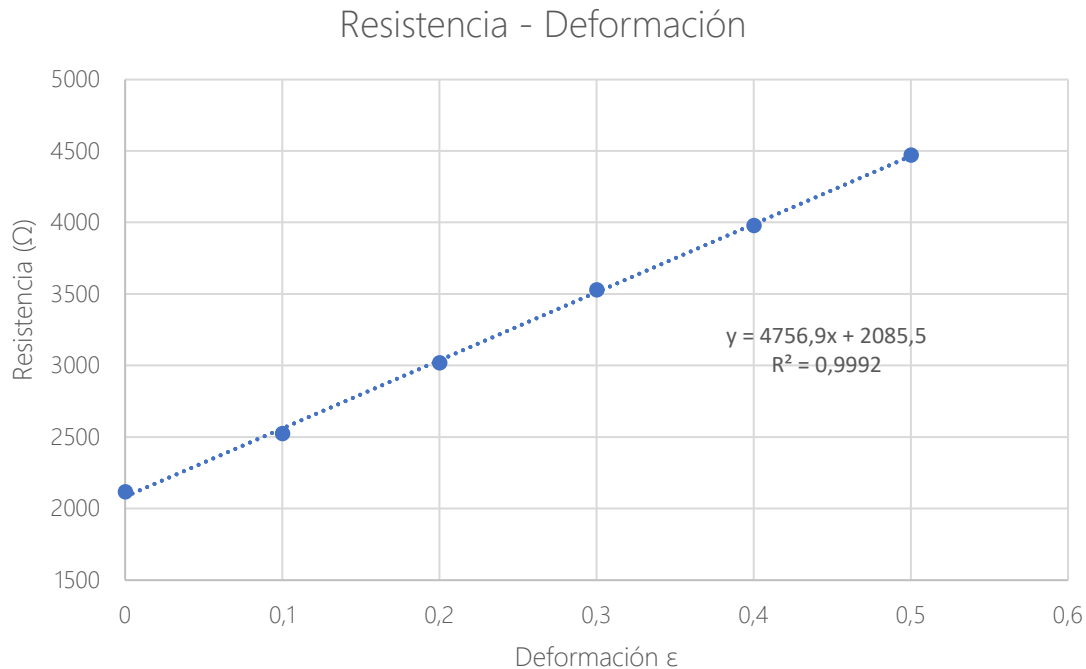


Figura 162. Gráfico resistencia-deformación para la talla L

Como se puede observar, sí existe una relación lineal entre la deformación y la resistencia de los sensores, de modo que, mediante este ensayo, se verifica el correcto funcionamiento del cojín.

Para terminar de demostrar que la relación planteada por la fórmula 5, que relaciona la deformación y la resistencia se cumple, se muestra otra gráfica que enfrenta el incremento de la resistencia respecto a la resistencia inicial contra la deformación, siempre extrayendo los datos de la media calculada. Quedando de este modo:

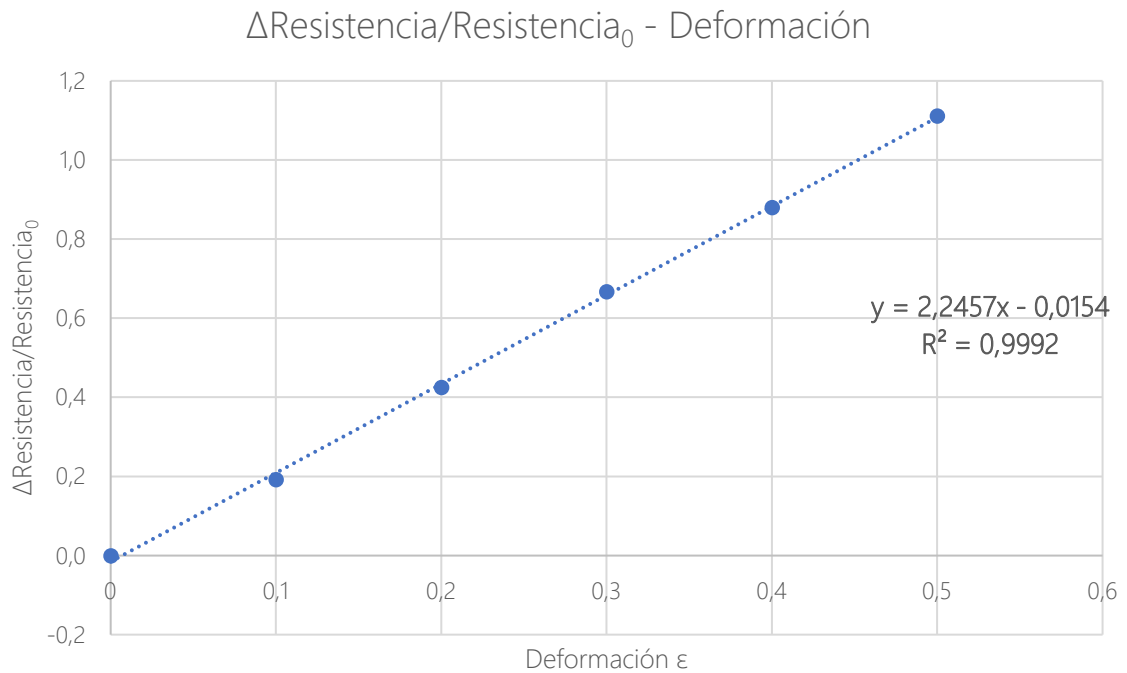


Figura 163. Gráfico aumento resistencia-deformación para la talla L

En este caso también se ha hecho uso de una regresión lineal para extraer la ecuación de la recta. Como se puede ver y, como en el gráfico anterior, se mantiene la relación lineal entre resistencia y deformación, comprobando el buen funcionamiento del producto mediante el cumplimiento de la fórmula que relaciona estos dos conceptos.

Una vez finalizadas todas las simulaciones de presión uniforme, es momento de sacar los insights de este estudio.

En primer lugar y, como justo se acaba de decir, se puede dictaminar que los sensores funcionan, tanto individualmente como en conjunto, como ha sucedido en las tallas estudiadas anteriormente. Esta afirmación se respalda en dos pilares básicos. Por un lado, se ha visto que, en todos los ensayos realizados, se obtiene un coeficiente de variación muy bajo.

El hecho de obtener un CV bajo se puede traducir como que las lecturas obtenidas de cada sensor son muy parecidas entre ellas, probando de este modo, que no existen interferencias entre los sensores y, que pueden actuar como un conjunto.

Por el otro lado, se ha demostrado que se mantiene la linealidad en la relación entre la deformación y la resistencia, en todos los casos. Verificando de nuevo, la fórmula que entabla la base del funcionamiento del sensor resistivo de presión, además de poder extrapolarlo al conjunto de sensores.

En segundo lugar, se ha comprobado la viabilidad del cojín gracias a que los sensores pueden actuar juntos y como conjunto. Al no causar interferencias ni malfuncionamientos entre ellos se puede entender que el producto final tiene un buen funcionamiento.

Como con las tallas anteriores, se dictamina que el producto funciona.

- o Presión no uniforme

En este apartado, se analizarán los distintos escenarios de presiones no uniformes comentados anteriormente.

Con el objetivo de mostrar los resultados de forma clara y ordenada se ha recurrido a la realización de una tabla que contenga los valores de resistencia de cada sensor para cada escenario.

Sensores	Presiones no uniformes											
	Norte (N)			Sur (S)			Este (E)			Oeste (W)		
	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ
11	0.1	2544.31	0.06%	0.5	4426.25	0.65%	0.1	2542.33	73.72%	0.5	4402.23	73.44%
11.1	0.1	2545.79		0.5	4397.75		0.5	4416.58		0.1	2538.24	
12	0.1	2542.15	0.20%	0.5	4425.70	0.03%	0.1	2544.02	73.76%	0.5	4413.16	73.45%
12.1	0.1	2547.26		0.5	4426.81		0.5	4420.38		0.1	2544.28	
13	0.1	2544.79	0.28%	0.5	4420.12	0.24%	0.2	3042.58	26.30%	0.4	3848.27	26.66%
13.1	0.1	2537.65		0.5	4409.63		0.4	3842.93		0.2	3038.17	
14	0.1	2538.89	0.01%	0.5	4429.44	0.40%	0.2	3033.76	26.84%	0.4	3837.39	26.39%
14.1	0.1	2538.56		0.5	4411.87		0.4	3848.09		0.2	3036.15	
21	0.2	3019.25	0.20%	0.4	4000.04	0.50%	0.1	2526.35	80.12%	0.5	4461.09	76.14%
21.1	0.2	3013.11		0.4	3980.16		0.5	4550.53		0.1	2532.69	
22	0.2	3001.80	0.71%	0.4	3975.30	1.03%	0.1	2525.97	80.87%	0.5	4397.90	74.38%
22.1	0.2	3023.18		0.4	4016.40		0.5	4568.62		0.1	2522.09	
23	0.2	3024.92	1.20%	0.4	4014.17	1.04%	0.2	3021.72	32.76%	0.4	4001.54	32.94%

Sensores	Presiones no uniformes											
	Norte (N)			Sur (S)			Este (E)			Oeste (W)		
	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ
23.1	0.2	2989.11		0.4	3972.99		0.4	4011.59		0.2	3010.13	
24	0.2	2996.37	0.56%	0.4	3988.74	0.19%	0.2	3004.74	34.53%	0.4	3989.03	32.3%
24.1	0.2	3013.12		0.4	3996.30		0.4	4042.14		0.2	3014.42	
31	0.4	4060.28	1.74%	0.2	3015.98	0.68%	0.1	2531.46	77.48%	0.5	4533.32	80.30%
31.1	0.4	3990.94		0.2	2995.73		0.5	4492.91		0.1	2514.36	
32	0.4	4039.11	0.66%	0.2	2994.80	0.11%	0.1	2531.64	80.43%	0.5	4335.24	72.10%
32.1	0.4	4012.72		0.2	2991.61		0.5	4567.96		0.1	2519.00	
33	0.4	4053.93	0.16%	0.2	3011.49	0.54%	0.2	3015.81	34.04%	0.4	3990.80	32.43%
33.1	0.4	4047.50		0.2	2995.40		0.4	4042.43		0.2	3013.62	
34	0.4	3992.13	0.93%	0.2	2995.08	0.13%	0.2	3001.15	34.70%	0.4	3989.30	32.05%
34.1	0.4	4029.15		0.2	2991.23		0.4	4042.49		0.2	3021.10	
41	0.5	4664.18	2.76%	0.1	2542.57	0.04%	0.1	2544.34	79.99%	0.5	4621.64	84.38%
41.1	0.5	4538.79		0.1	2543.68		0.5	4579.61		0.1	2506.62	
42	0.5	4609.25	1.85%	0.1	2538.74	0.14%	0.1	2528.95	82.52%	0.5	4466.40	77.07%

Sensores	Presiones no uniformes											
	Norte (N)			Sur (S)			Este (E)			Oeste (W)		
	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ
42.1	0.5	4525.60		0.1	2535.13		0.5	4615.87		0.1	2522.37	
43	0.5	4621.63	1.07%	0.1	2530.18	0.52%	0.2	3014.31	34.92%	0.4	4025.83	34.13%
43.1	0.5	4572.67		0.1	2517.11		0.4	4048.00		0.2	3001.53	
44	0.5	4524.63	1.98%	0.1	2527.52	0.31%	0.2	3022.21	34.04%	0.4	4017.08	33.32%
44.1	0.5	4614.07		0.1	2535.35		0.4	4050.92		0.2	3013.21	

Tabla 22. Resultados para las deformaciones principales en la talla L

Sensores	Presiones no uniformes											
	Noreste (NE)			Noroeste (NW)			Sureste (SE)			Suroeste (SW)		
	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ
11	0.1	2541.80	73.46%	0.5	4423.13	73.71%	0.1	2539.63	73.86%	0.5	4408.64	73.36%
11.1	0.5	4408.96		0.1	2546.31		0.5	4415.45		0.1	2543.00	
12	0.1	2545.29	39.64%	0.3	3546.21	39.13%	0.3	3557.57	24.13%	0.5	4416.93	24.18%
12.1	0.3	3554.25		0.1	2548.84		0.5	4416.15		0.3	3556.98	
13	0.1	2536.35	40.03%	0.3	3564.33	40.55%	0.3	3554.69	24.32%	0.5	4416.56	24.35%
13.1	0.3	3551.60		0.1	2535.94		0.5	4419.29		0.3	3551.71	
14	0.1	2542.33	39.80%	0.3	3555.05	39.90%	0.3	3554.93	23.94%	0.5	4417.95	23.99%
14.1	0.3	3554.14		0.1	2541.12		0.5	4405.84		0.3	3563.09	
21	0.1	2524.52	78.34%	0.5	4487.80	77.39%	0.1	2533.98	76.49%	0.5	4538.04	79.08%
21.1	0.5	4502.35		0.1	2529.97		0.5	4472.12		0.1	2534.06	
22	0.1	2526.01	81.80%	0.5	4460.05	76.22%	0.1	2522.53	79.69%	0.5	4462.39	76.70%
22.1	0.5	4592.19		0.1	2530.89		0.5	4532.64		0.1	2525.47	
23	0.1	2532.12	37.61%	0.3	3500.60	38.64%	0.3	3511.26	28.06%	0.5	4538.68	29.51%

Sensores	Presiones no uniformes											
	Noreste (NE)			Noroeste (NW)			Sureste (SE)			Suroeste (SW)		
	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ
23.1	0.3	3484.51		0.1	2524.90		0.5	4496.40		0.3	3504.54	
24	0.3	3492.86	0.67%	0.3	3517.88	0.42%	0.3	3509.89	1.00%	0.3	3506.72	0.72%
24.1	0.3	3516.10		0.3	3532.74		0.3	3475.15		0.3	3531.98	
31	0.1	2537.82	74.86%	0.5	4545.30	79.81%	0.1	2542.39	72.65%	0.5	4574.84	81.34%
31.1	0.5	4437.54		0.1	2527.83		0.5	4389.52		0.1	2522.73	
32	0.1	2518.49	78.02%	0.5	4421.12	74.39%	0.1	2523.87	79.05%	0.5	4418.39	75.06%
32.1	0.5	4483.31		0.1	2535.15		0.5	4519.08		0.1	2523.98	
33	0.3	3488.40	29.22%	0.5	4400.04	25.66%	0.1	2523.55	37.57%	0.3	3468.81	37.37%
33.1	0.5	4507.76		0.3	3501.67		0.3	3471.54		0.1	2525.18	
34	0.3	3507.34	0.30%	0.3	3516.80	0.49%	0.3	3506.07	0.23%	0.3	3518.62	0.12%
34.1	0.3	3517.88		0.3	3499.63		0.3	3497.99		0.3	3514.39	
41	0.1	2538.55	81.03%	0.5	4640.30	83.18%	0.1	2543.17	79.50%	0.5	4615.45	82.61%
41.1	0.5	4595.48		0.1	2533.20		0.5	4564.93		0.1	2527.47	
42	0.3	3516.83	29.27%	0.5	4556.09	28.55%	0.1	2523.05	39.30%	0.3	3501.29	38.05%

Sensores	Presiones no uniformes											
	Noreste (NE)			Noroeste (NW)			Sureste (SE)			Suroeste (SW)		
	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ	ϵ	Resistencia (Ω)	Δ
42.1	0.5	4546.14		0.3	3544.32		0.3	3514.63		0.1	2536.29	
43	0.3	3512.39	28.82%	0.5	4618.53	30.92%	0.1	2532.42	39.01%	0.3	3507.07	38.75%
43.1	0.5	4524.68		0.3	3527.82		0.3	3520.42		0.1	2527.63	
44	0.3	3527.45	30.60%	0.5	4557.61	29.74%	0.1	2518.46	38.98%	0.3	3494.66	38.92%
44.1	0.5	4606.94		0.3	3512.98		0.3	3500.25		0.1	2515.60	

Tabla 23. Resultados par alas deformaciones secundarias en la talla L

Como se puede ver, aparte de presentar los datos de resistencia, también se muestra la deformación aplicada en cada caso y, una comparación relativa de la diferencia de resistencia entre los sensores homólogos.

Como en las tallas anteriores, para realizar el cálculo de la diferencia relativa, se ha tomado como referencia siempre el valor más pequeño de los dos. Se ha dictaminado también que, una diferencia mayor al 30% es el límite para considerar el desequilibrio como potencialmente peligroso si se prolonga en el tiempo.

Se puede ver claramente que, en la mayoría de los escenarios planteados, existe riesgo potencial de lesión, si se prolonga en el tiempo. Sin embargo, y como viene siendo tónica, hay dos escenarios en que estas directrices de análisis no funcionan; es el caso de los escenarios norte y sur. El problema es que el análisis se lleva a cabo mediante la comparación de los sensores a lado y lado del eje vertical de simetría del cojín y, con este tipo de presiones no uniformes, las deformaciones se producen a lo largo de este eje y, por igual en cada lado.

Por este motivo, se puede aplicar la misma solución que en los casos anteriores, se debería añadir un sistema de análisis para cubrir estos casos. Dicho sistema podría basarse en la comparación de los sensores de la primera fila con los de la última y, fijando un porcentaje mínimo de diferencia relativa, se podría saber si el usuario se encuentra en una posición de riesgo.

A parte de las tablas presentadas anteriormente, también se han generado unos gráficos que ilustran la información contenida en las tablas para cada escenario.

Dichos gráficos pueden asemejarse a una distribución de presiones 3D, ya que los ejes X y Y, corresponden al sistema de posicionamiento de los sensores (filas y columnas), mientras que el eje Z refleja la resistencia obtenida en cada caso.

Así pues, a continuación, se mostrarán los gráficos mencionados para cada escenario:

Para el escenario norte, donde las presiones presentan una basculación del peso hacia adelante se ha obtenido la siguiente distribución:

Deformación no uniforme - N

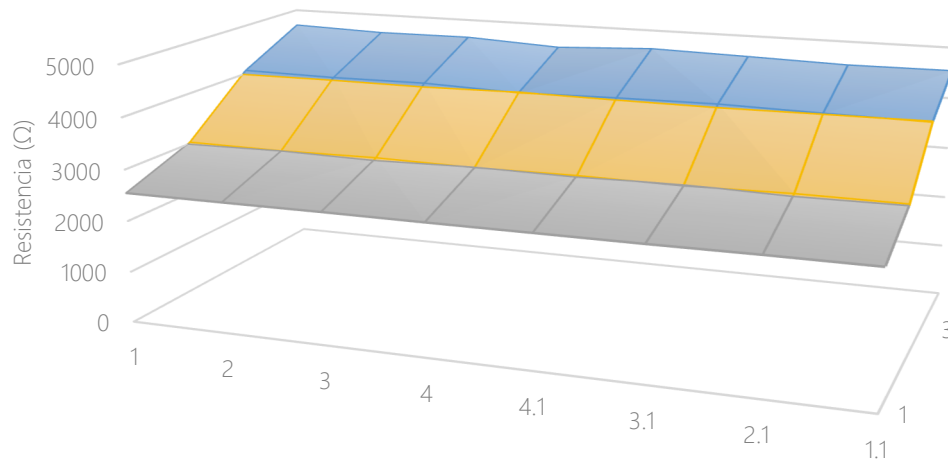


Figura 164. Distribución de resistencias para la deformación Norte en la talla L

Se puede apreciar la pendiente creciente que presenta la distribución, donde los valores más elevados se sitúan lo más alejados del borde inferior. En este caso, se observa que también hubo algún problema en la simulación de las deformaciones más elevadas, ya que no reflejan las presiones que deberían.

Para el escenario sur, donde las presiones presentan una basculación del peso hacia atrás se ha obtenido la siguiente distribución:

Deformación no uniforme - S

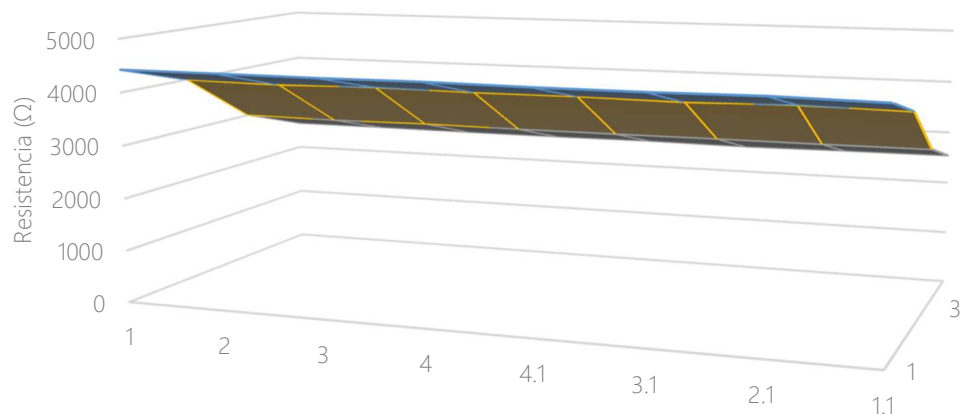


Figura 165. Distribución de resistencias para la deformación Sur en la talla L

Se puede apreciar la pendiente decreciente que presenta la distribución, donde los valores más elevados se sitúan lo más cerca del borde inferior.

Deformación no uniforme - E

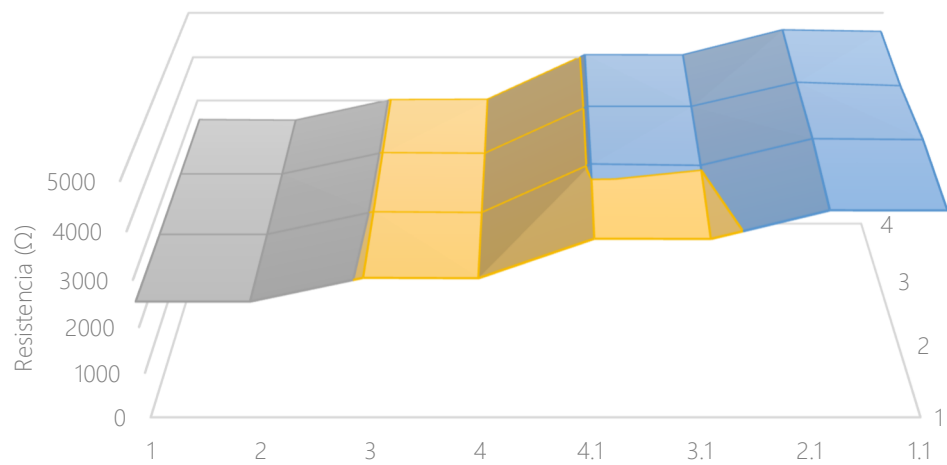


Figura 166. Distribución de resistencias para la deformación Este en la talla L

Para el escenario este, donde las presiones presentan una basculación del peso hacia la derecha se ha obtenido la siguiente distribución:

Se puede apreciar la pendiente creciente hacia la derecha que presenta la distribución, donde los valores más elevados se sitúan lo más cerca del borde derecho.

Para el escenario oeste, donde las presiones presentan una basculación del peso hacia la izquierda se ha obtenido la siguiente distribución:

Deformación no uniforme - W

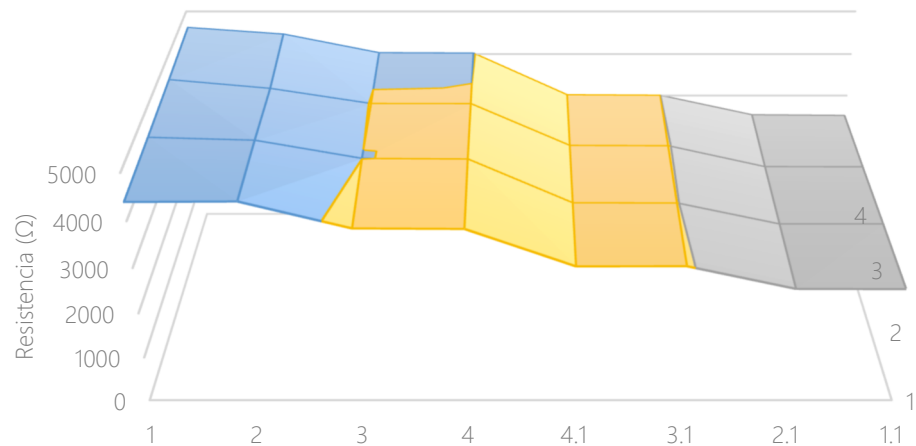


Figura 167. Distribución de resistencias para la deformación Oeste en la talla L

Se puede apreciar la pendiente creciente hacia la izquierda que presenta la distribución, donde los valores más elevados se sitúan lo más cerca del borde izquierdo.

Para el escenario noreste, donde las presiones presentan una basculación del peso hacia adelante y a la derecha se ha obtenido la siguiente distribución:

Deformación no uniforme - NE

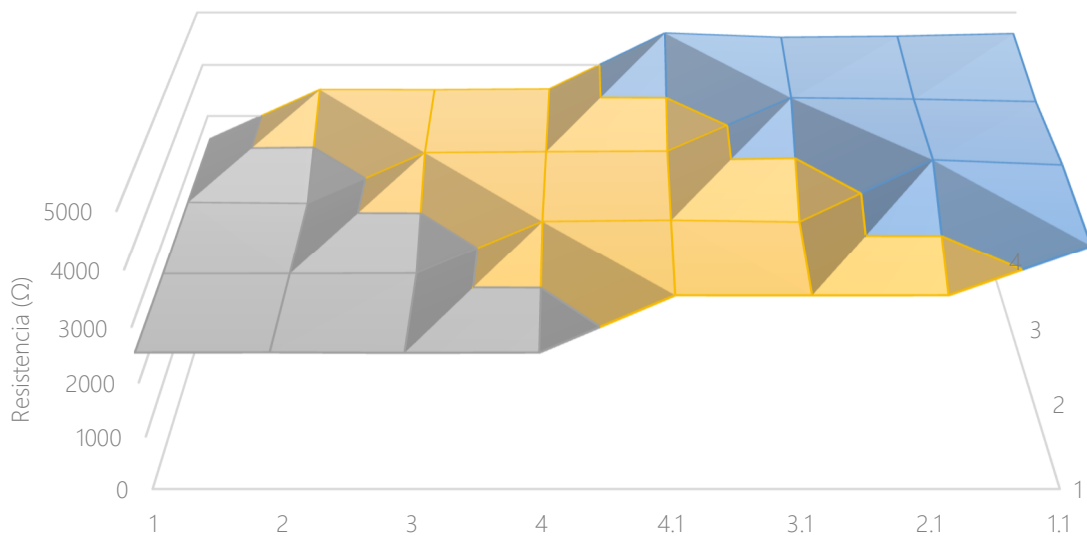


Figura 168. Distribución de resistencias para la deformación Noreste en la talla L

Se puede apreciar la pendiente creciente hacia adelante y a la derecha que presenta la distribución, donde los valores más elevados se sitúan lo más cerca del borde superior derecho.

Para el escenario noroeste, donde las presiones presentan una basculación del peso hacia adelante y a la izquierda se ha obtenido la siguiente distribución:

Deformación no uniforme - NW

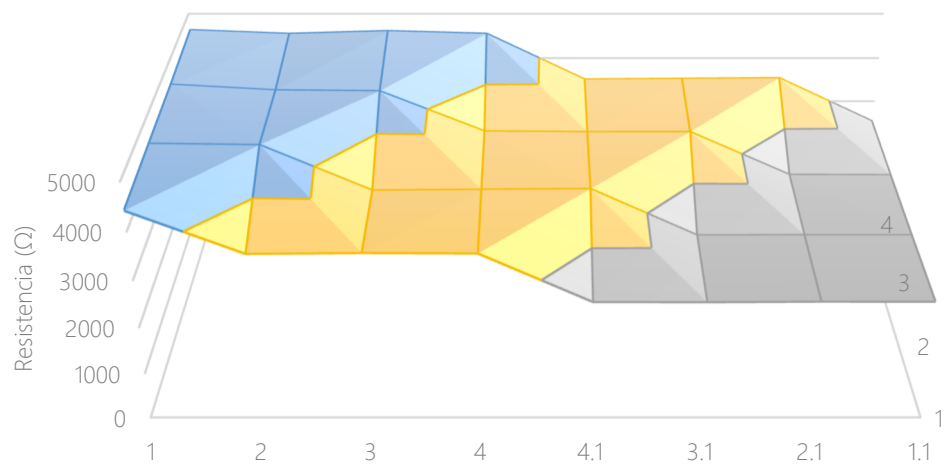


Figura 169. Distribución de resistencias para la deformación Noroeste en la talla L

Se puede apreciar la pendiente creciente hacia adelante y a la izquierda que presenta la distribución, donde los valores más elevados se sitúan lo más cerca del borde superior izquierdo.

Para el escenario sureste, donde las presiones presentan una basculación del peso hacia atrás y a la derecha se ha obtenido la siguiente distribución:

Deformación no uniforme - SE

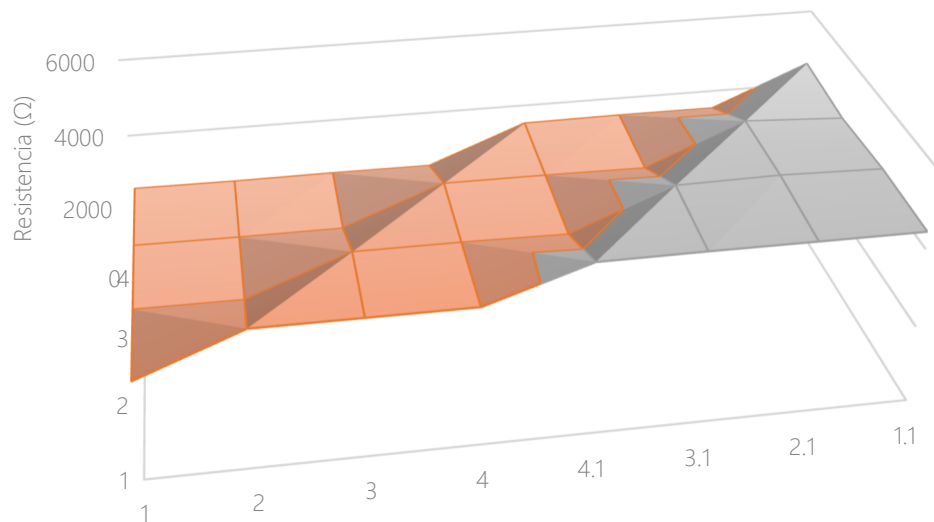


Figura 170. Distribución de resistencias para la deformación Sureste en la talla L

Se puede apreciar la pendiente creciente hacia atrás y a la derecha que presenta la distribución, donde los valores más elevados se sitúan lo más cerca del borde inferior derecho.

Para el escenario suroeste, donde las presiones presentan una basculación del peso hacia atrás y a la izquierda se ha obtenido la siguiente distribución:

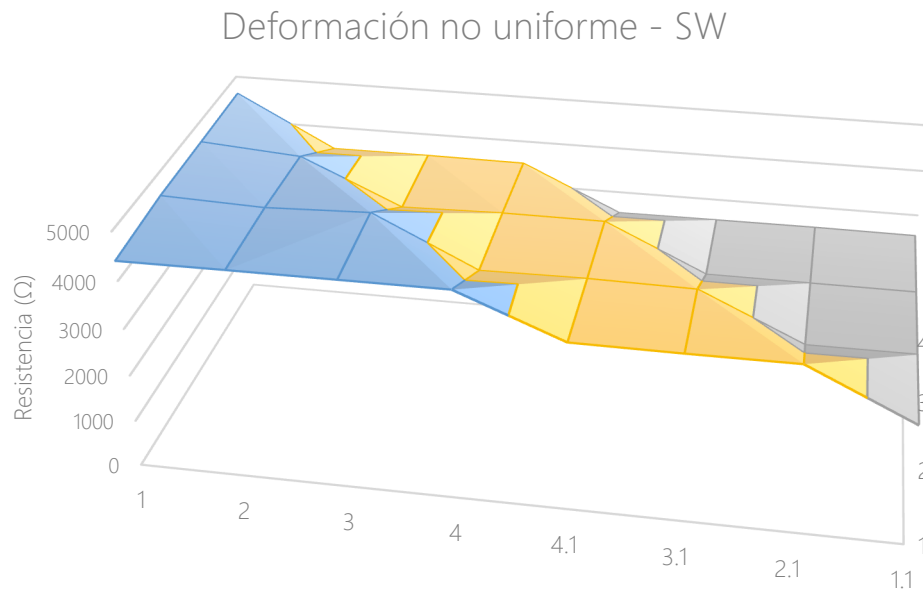


Figura 171. Distribución de resistencias para la deformación Suroeste en la talla L

Se puede apreciar la pendiente creciente hacia atrás y a la izquierda que presenta la distribución, donde los valores más elevados se sitúan lo más cerca del borde inferior izquierdo.

Una vez finalizadas todas las simulaciones de presión no uniforme, es momento de sacar los insights de este estudio.

Se puede afirmar que se ha cumplido el objetivo básico y principal de este tipo de simulaciones que, consistía en evaluar si la hipótesis de evaluación de malas posturas a partir del equilibrio entre los sensores homólogos podía o no satisfacer todas las casuísticas planteadas.

Como ya se ha dicho anteriormente y como en las tallas anteriores, hay dos escenarios en que este sistema de evaluación falla, son aquellas en que la basculación del peso sigue la misma dirección que el eje de simetría. En estos

casos, la evaluación de sensores a lado y lado de dicho eje no aporta la información necesaria para detectar malas posturas.

Una posible solución es la misma que la encontrada para las tallas anteriores, consiste en la implementación de otros parámetros de evaluación que consideren los ejes horizontales a parte del vertical. De este modo se podría evaluar las presiones en las distintas filas de las matrices de sensores.

En cuanto al resto de casuísticas, el sistema de evaluación funciona perfectamente.

Es importante mencionar que se ha confirmado que el problema surgido en la simulación norte de la talla anterior se otorga a algún fallo al programar la simulación, no al funcionamiento del cojín; ya que en este caso no se ha repetido dicho error.

Cabe recalcar también el buen funcionamiento de los sensores, tanto a nivel individual como de conjunto, en cuanto a presiones no uniformes, obviando la simulación norte. Se ha visto que la sensibilidad obtenida es buena, ya que hay mucha diferencia entre los valores resistivos obtenidos según las deformaciones aplicadas.

Así pues y para finalizar, se puede decir que, adaptando la hipótesis de evaluación a todos los escenarios, el artículo tiene un buen funcionamiento.

Con todas las simulaciones de todas las diferentes tallas realizadas y, sus respectivos resultados analizados, se da por concluida esta sección, donde se han comprobado diversos planteamientos respecto al artículo.

En primera instancia, se puede decir que los sensores funcionan en todos los casos, tanto individualmente como en conjunto, haciendo que el cojín como artículo único tenga un buen funcionamiento.

En segunda instancia, se ha verificado que la hipótesis de medida de las malas posturas funciona en la mayoría de casuísticas. Simplemente se debe implementar el nuevo criterio de análisis propuesto para evitar los problemas en los escenarios en que la presión siga la misma dirección que el eje vertical.

Electrónica

Cuando se ha comprobado el buen funcionamiento del cojín en todas las tallas propuestas, es momento de analizar los otros componentes del producto que tienen una función vital para el correcto desarrollo de su actividad. En este apartado, se tratará la electrónica que envuelve todo el proceso.

Hasta el momento, se ha definido la forma del cojín y el funcionamiento de los sensores; el papel de la electrónica consiste en integrar todos estos conceptos, de modo que las lecturas de los sensores tengan una utilidad.

Los sensores son los encargados de captar la magnitud física de valor, en este caso la presión y, la transforma en señales eléctricas capaces de ser entendidas por un microprocesador. El microprocesador recopila toda esta información y, la usa para elaborar una respuesta mediante los actuadores. En este caso, se trata dar la alarma vía una app móvil.

Como justo se acaba de ver, se puede dividir la electrónica en dos partes. Por un lado, el elemento que va a recopilar toda la información proveniente de los sensores, se trata de una placa base con un microprocesador.

Por otro, la aplicación móvil que tiene la función de alertar al usuario y mostrar los valores de presión en tiempo real.

- Placa base

Una placa base es una superficie que cuenta con circuitos impresos donde se pueden conectar entradas y salidas. Generalmente, las entradas aportan una información que es procesada por el microprocesador de la placa. Éste es el encargado de elaborar una respuesta que es enviada a las salidas o bien, se manifiesta a través de las salidas.

Existen numerosos fabricantes de este tipo de placas, así como diversos lenguajes informáticos para programarlas. En este caso, la placa se debe implementar en un artículo textil, de modo que es necesario que cumpla con ciertos requisitos para no entorpecer el funcionamiento del artículo.

Estos requisitos se pueden clasificar básicamente en tres factores: el tamaño, el consumo y, la integración.

En cuanto al tamaño, se puede afirmar que las placas deben ser pequeñas, ya que esto facilita la integración en los textiles.

El consumo va asociado al factor del tamaño; cuanto menor sea el consumo de la placa, menores dimensiones tendrá la batería, facilitando de este modo la integración del conjunto en los textiles.

Referente a la integración, hay que tener en cuenta la interfaz de los pines (entradas y salidas), ya que si son compatibles con los hilos conductores se facilita mucha la tarea de integración.

Abordados los tres factores de impacto en el diseño de la placa, es importante mencionar que ciertos fabricantes han diseñado placas específicamente para textiles, que cumplen los tres requisitos anteriores y, además cuentan con otras características de gran valor para el usuario, como por ejemplo el hecho de que se pueden lavar (bajo ciertas condiciones).

A continuación, se mostrarán dos placas que podrían ser utilizadas en el cojín y, según sus características se escogerá la que mejor encaje con las necesidades del producto:

- Lilypad

LillyPad es una placa desarrollada por la empresa Sparkfun en colaboración con Arduino. Tiene una forma circular con unos 50 mm de diámetro y 0.8 mm de altura.

Debido a la forma de los pines, se puede adaptar fácilmente a las prendas y artículos textiles ya que se pueden coser con hilo conductor. Cuenta con 4 pines analógicos (donde se conectarían los sensores).

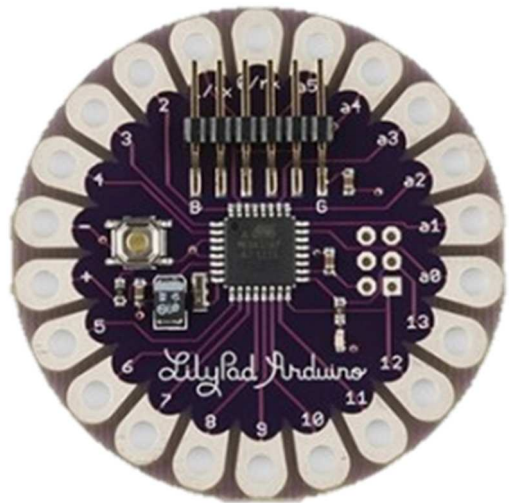


Figura 172. Placa Lilypad [31]

Como se ha dicho anteriormente, esta placa se puede lavar, bajo ciertas condiciones [31].

- o Flora

Flora es una placa desarrollada por la empresa Adafruit, compatible con el ecosistema Arduino. Como la placa anterior, también tiene forma circular, con 45 mm de diámetro y 1 mm de altura.

Los pines de la placa permiten fácilmente ser utilizados con hilo conductor y se pueden coser a la ropa. Cuenta con 4 pines analógicos (donde se conectarían los sensores) [32].

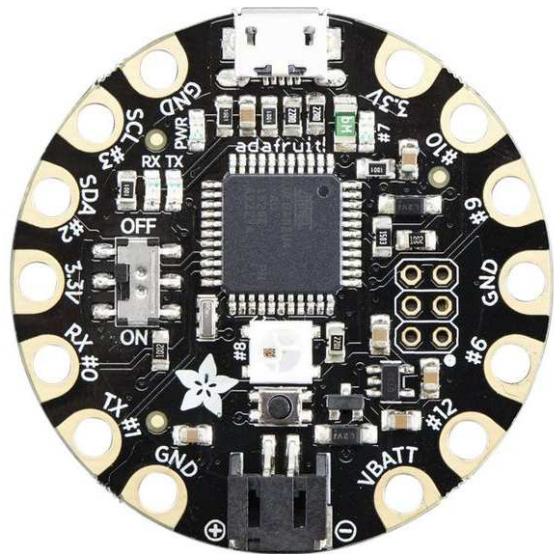


Figura 173. Placa Flora [32]

Ambos modelos tienen características similares, las diferencias más remarcables son las dimensiones, donde Flora presenta un tamaño menor que LilyPad y, la posibilidad de poder lavar el producto con la placa, característica que solo presenta LilyPad.

En cuanto a las otras características, las dos placas son aptas para ser incorporadas al diseño final. Cabe mencionar que ambas pueden transmitir los datos vía bluetooth al dispositivo móvil del usuario.

Sea cual sea la placa utilizada finalmente, un factor que se cumplirá en las dos opciones es que se requerirán diversas placas para poder conectar todos los sensores, ya que solo disponen de 4 pines analógicos.

En concreto, se necesitaría 8 placas para las tallas M y L, ya que cuentan con más sensores y, 5 placas para la talla S. Todas ellas irían situadas en la mitad superior del cojín, en el espacio sobrante entre pierna y pierna del usuario, para aligerar la tensión, aunque el cojín cuenta con una espuma que protegería el sistema en caso de que se aplicara alguna presión.

Se podría estudiar en el futuro la opción de desarrollar una placa de circuito impreso que incluyera un microprocesador y la gestión de un número de entradas/salidas adecuado, para minimizar el número de placas empleadas.

Finalmente, la decisión se basa en el tamaño, la placa más pequeña permite una mejor integración en el producto, de modo que las placas que se utilizarán serán las Flora.

- App móvil

Esta segunda parte de la electrónica se define como la interfaz entre el dispositivo y el usuario. La función de la aplicación es mostrar las lecturas de los sensores de un modo que el usuario pueda ver y entender fácilmente si está adoptando una mala postura.

También tiene la función de alertar al usuario en caso de que dicha postura se prolongue en el tiempo, evitando de este modo, posibles complicaciones y riesgos.

La aplicación podría llevar a cabo también funciones de almacenamiento y análisis de los datos a lo largo del tiempo.

No se hablará de la programación de la aplicación, ya que queda fuera del alcance de este proyecto, aun así, se puede proponer un diseño de dicha interfaz:

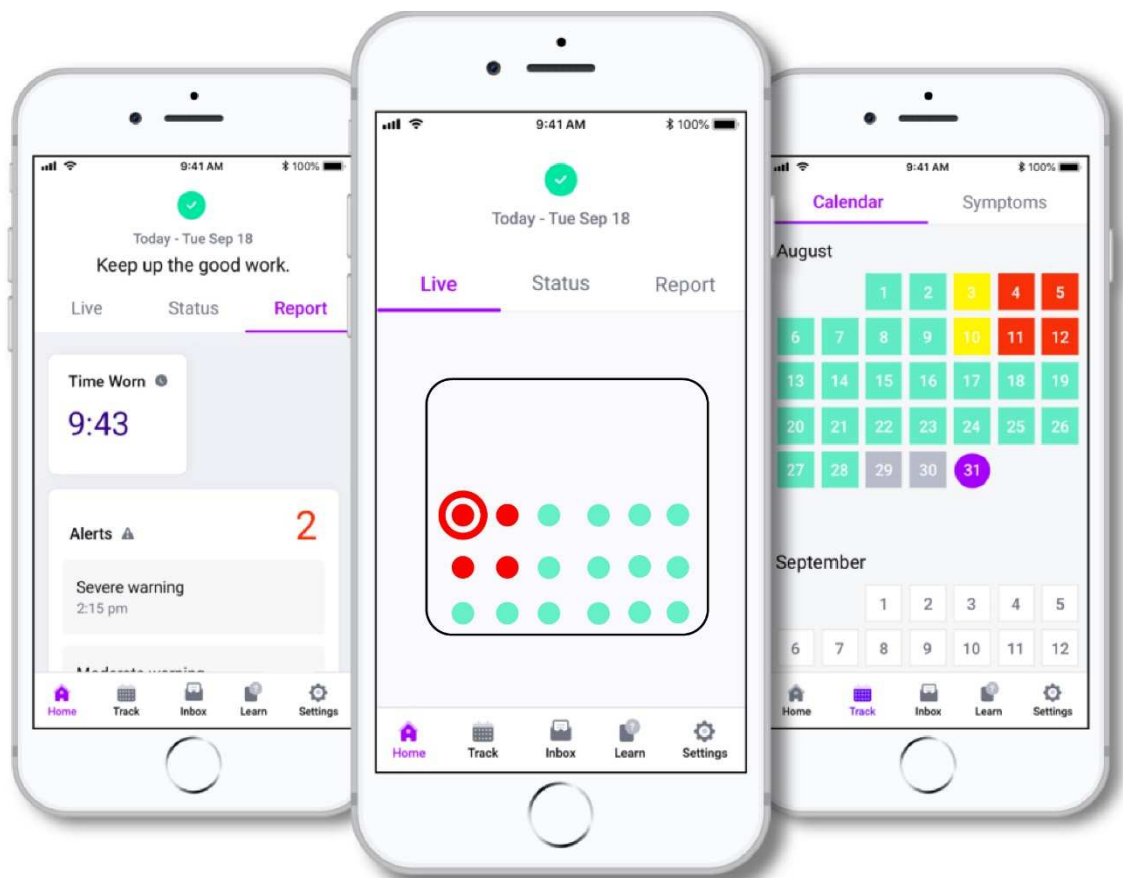


Figura 174. Diseño de la app móvil

Donde se muestra un diagrama del cojín con las zonas que están recibiendo más presión, así como un calendario donde se almacenan los datos diarios. Finalmente, también se propone una pestaña donde se reporta la actividad diaria.

Finalmente, se recuerda que todo el sistema se alimenta de la dinamo que se instalaría en la silla. Es posible que no se pueda conectar la dinamo directamente a las placas, ya que igual se fundirían, por este motivo, la dinamo alimentaría una batería y ésta, alimentaría a las placas.

Anteriormente, también se propuso la implementación de una batería auxiliar para ocasiones donde la dinamo no proporcionara la suficiente energía para alimentar el sistema. Dicha opción sigue en pie, de este modo se pueden cubrir todas las casuísticas.

Así pues, quedan definidos los elementos electrónicos más importantes del cojín.

Si bien es cierto que la programación que hay detrás, así como los elementos de menor importancia, pero igualmente indispensables para que el sistema funcione, no se definen; se ha podido dar una idea general de cómo sería la electrónica de los cojines.

Textil

Es importante no olvidar que todo el sistema de sensores y toda la electrónica, va envuelta en materiales textiles, que son quienes darán las condiciones de confort y estética al producto final.

Es en este punto donde se debe recuperar la información obtenida de la normativa, ya que aquí es donde se pueden aplicar los acabados que determinarán si el producto es apto o no para el uso.

Se recuerda que se trata de una estructura multicapa donde cada una de ellas tiene una función. Dicha estructura está formada por la capa central de algodón, las capas de espuma por encima y por debajo de la anterior y, finalmente el tejido envolvente.

Así pues, este apartado se dividirá en cada una de las capas mencionadas.

- **Capa de algodón**

Se trata de la capa central y, es la base de sobre la que se bordarán los sensores, así como la costura de las placas y, como es obvio las respectivas conexiones.

Se trata de un medio neutro que sirve para dar soporte al sistema de detección y lectura de presiones. Es por la mínima conductividad eléctrica que presenta el algodón que se ha escogido este material como medio neutro.

Dicho medio consiste en un tejido de calada, hecho con un ligamento simple, como podría ser una plana. Debe dotarse de una densidad media, ya que una densidad baja daría poca estabilidad al conjunto, mientras que una densidad demasiado elevada dificultaría el bordado de los sensores.

No es necesario dotar al tejido de acabados especiales, ya que no debe cumplir funciones estéticas o funcionales, a diferencia de otras partes del cojín.

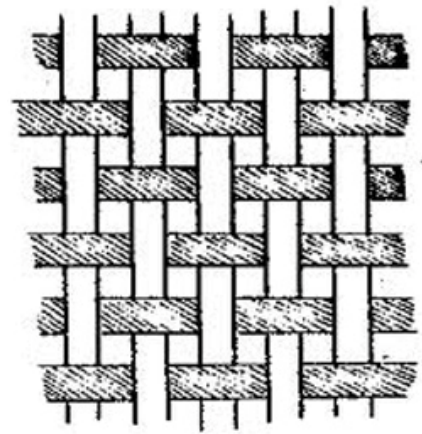


Figura 175. Esquema de un tejido de calada [33]

Al tratarse de un ligamento simple y de no contar con acabados especiales, el precio de esta capa será muy reducido.

- Capas de espuma

Como se ha dicho anteriormente, las capas de espuma se sitúan por encima y por debajo de la capa de algodón. Tiene dos funciones principales, por un lado, aporta cierto grado de confort al artículo; a pesar de tratarse de un cojín fino, si se proporciona cierto acolchamiento, el confort aumenta.

Por otro lado, tiene la función de proteger todos los elementos de la capa de algodón, tanto los sensores como las placas, sin olvidar las conexiones y los elementos soldados a la placa.

Mediante esta protección, se asegura que la vida útil del cojín sea más larga, así como el buen funcionamiento de todo el sistema.

Con el objetivo de cumplir las dos funciones presentadas de forma simultánea, estas capas deben poseer una densidad media-elevada, de entre 25 y 30 kg/m³, proporcionando una firmeza que aportará confort para el usuario y protección a la electrónica y sensores.

Se trata de dos capas finas de 14 mm cada una, como se ha visto anteriormente y, el material más adecuado para fabricarlas es el poliéter (no confundir con poliéster), un polímero formado a base de éteres. Al tratarse de un polímero inerte eléctricamente, no causará interferencias en el desarrollo de la actividad de los sensores.

Este tipo de espumas ya se fabrican con acabados ignífugos, de modo que no combustionan ni lentamente ni con llama, cumpliendo de este modo con las normas EN 1021-1 y EN 1021-2.

- **Capa envolvente**

Finalmente, la capa envolvente, se trata de la funda que va a contener todas las capas anteriores y proporcionará cohesión al producto, así como el acabado estético.

Podría tratarse de un tejido de calada, hecho a partir de algodón y poliéster para aportar transpirabilidad al cojín. Puede fabricarse mediante un ligamento simple o bien, otro más complejo, según el gusto del usuario; así como los colores o dibujos que se quieran implementar. Es importante que cuente con una cremallera de modo que se pueda sacar el interior del cojín con el fin de poder lavar la funda.

Hay que tener en cuenta que cuanto más complejo sea el ligamento, más colores se introduzcan en los hilos y, más cenefas se quieran plasmar en el tejido, el precio será mayor.

A pesar de esto, es importante que la densidad del tejido sea elevada, ya que estará sometido a bastante fricción, de modo que no puede gastarse con facilidad.

Al tejerse con poliéster y algodón, las propiedades térmicas son las adecuadas para cumplir con la norma EN ISO 13732-1, ya que estos materiales impiden que el producto se caliente a una temperatura elevada.

Finalmente, se deben aplicar acabados ignífugos para cumplir con las normas EN 1021-1 y EN 1021-2, que dictaminan que el producto no puede combustionar lentamente ni con llama.

Cabe estudiar si es interesante la adición de otros acabados como el antimancha, con el objetivo de aportar un plus de valor al producto.

De este modo quedan definidas las tres capas de las que se compone el cojín. Es importante mencionar que existen otras partes textiles del cojín a tener en cuenta, como las correas con velcro para atar el cojín a la estructura de la silla, así como los espacios por donde pasará el cable que conecta la dinamo a las baterías de las placas.

En general, no se trata de textiles muy complejos, ya que no tienen que cumplir una función muy especial, simplemente conforman la base del sistema y, aportan cohesión a todo el producto. Sin embargo, hay que tener en cuenta los acabados ignífugos necesarios para poder cumplir con la normativa estudiada.

Conclusiones

Con todos los aspectos del producto caracterizados, bien sea tanto a nivel conceptual, funcional como técnico, se posee toda la información necesaria para llegar a diversas conclusiones.

El titular y, por ende, la conclusión principal es que el producto es viable, como mínimo desde un marco teórico.

Para establecer el contexto y sintetizar, el producto se trata de un cojín que incorpora sensores textiles resistivos de presión con el objetivo de detectar malas posturas en los usuarios de sillas de ruedas.

En cuanto a alcance, se estudió el sector de la población al que se quiere llegar y se elaboró una solución a partir del diseño de diversas tallas para satisfacer a la mayoría del público, aportando este punto de personalización del producto. De modo que se puede concluir diciendo que se trata de un producto inclusivo, que pretende llegar a un gran número de usuarios.

La funcionalidad se ha demostrado mediante simulaciones electromagnéticas donde se sometía a los diferentes modelos del cojín a distintos tipos de presión. De este modo se demostraba el buen funcionamiento del producto, es decir, el correcto funcionamiento de los sensores individualmente y en grupo. También se probó la eficacia del método de evaluación de malas posturas, dando como resultado la detección de ciertas situaciones en que dicho método falla, con el objetivo de poder corregir dichos fallos.

Se ha visto que la sensibilidad obtenida es buena, ya que hay mucha diferencia entre los valores resistivos obtenidos según las deformaciones aplicadas.

En general, la conclusión es que el producto funciona.

También se han estudiado los componentes necesarios para que el sistema funcione, se trata de la electrónica. Si bien es cierto que no se ha hecho mucho hincapié en este aspecto, se han dado las directrices principales para su fabricación.

Un aspecto que llama la atención del apartado de la electrónica es el número de placas requeridas para recoger todos los datos de los sensores, este proceso, no es eficiente del todo, de modo que, para futuras mejoras queda la implementación de un sistema más óptimo con el objetivo de reducir el número de placas implicadas en el proceso.

Por último, se han valorado las características de los materiales y estructuras textiles encargadas de dar forma y cohesión al producto.

Así pues, se puede dictaminar que el producto funciona y posee una factibilidad elevada. Hay ciertos aspectos que pueden mejorarse, como el caso de la evaluación de malas posturas, y ciertos aspectos en los que se puede profundizar más, como la electrónica.

También sería muy interesante la posibilidad de realización de pruebas con sujetos, con el objetivo de determinar el tiempo a partir del cual una mala postura puede ser peligrosa, ya que no hay datos exactos para determinar este tipo de información. De este modo y, sabiendo el tiempo exacto, se podría incluir en la programación de la app.

En general, el estudio ha sido profundo y los resultados obtenidos son satisfactorios.

Adicionalmente, en el anexo se encuentran imágenes renderizadas de los productos finales.

Producción

Como se ha visto en los apartados anteriores, hay tres grupos de elementos muy diferenciados en el cojín, los sensores, la electrónica y los elementos textiles. Esta sección tratará sobre los procesos de fabricación de cada uno de ellos, así como su integración y ensamblaje en el producto final.

Así pues, quedan definidas las subsecciones de este apartado, los tres elementos (sensores, electrónica y textil) y su integración.

Sensores

El primer paso consiste en recordar que el sensor está hecho a partir del bordado del hilo experimental estudiado, de modo que la producción del sensor se puede dividir en 2 etapas. En primer lugar, la producción del hilo y, en segundo lugar, el bordado de dicho hilo, siguiendo la geometría en cuestión, sobre la base de algodón.

En cuanto a la producción del hilo, como ya se dijo en apartados anteriores, se necesita un filamento de PPTA y diversos productos que le otorgaran las propiedades eléctricas deseadas, entre ellos la anilina. El filamento pasa por dos tanques de inmersión donde se impregna de dichos productos. Después, el filamento se almacena y mediante un proceso de oxidación y polimerización se crea una capa conductora de PANI en la superficie del hilo.

De este modo, se consigue el hilo experimental. Como ya se comentó anteriormente, al tratarse de un hilo no comercial, las producciones son pequeñas. Aun así, mediante una industrialización del proceso se pueden obtener mayores cantidades en tiempos muy reducidos. Si se industrializara, los pasos finales consistirían en un bobinado a gran escala, es decir, se almacenarían grandes cantidades de hilo en bobinas para ser transportadas y/o comercializadas.

La técnica utilizada para realizar el sensor es el bordado, si bien es cierto que hoy en día existen máquinas de bordado con un alto nivel de industrialización y, hasta tecnología CNC, los volúmenes de producción siempre serán menores que los obtenidos en el proceso de tejeduría convencional, bien sea de malla o de calada. Es por este motivo que es muy probable que las grandes bobinas provenientes de la hilatura, se deban pasar a bobinas de un tamaño menor para poder ser implementadas en la máquina de bordado.

Como justo se acaba de mencionar, muchas de las máquinas de bordado industriales son programables, de modo que son capaces de bordar casi cualquier geometría, siempre y cuando se programe adecuadamente. De este modo, se pueden bordar todos los sensores en un tiempo competitivo.

Cabría estudiar cómo se realizaría la unión entre los sensores y las placas, si bien es cierto que las placas pueden coserse usando el hilo conductor, se tendría que ver si la propia máquina de bordar permite realizar este proceso. En caso negativo, debería realizarse manualmente.

Como en todo proceso, se deberían hacer pruebas de calidad cada cierto tiempo o cada cierto lote para comprobar el buen funcionamiento de los sensores.

Así pues, la fabricación del sensor queda definida.

Electrónica

En el caso de la electrónica, la producción tiene un papel muy discreto, ya que la opción más fácil y la más rentable consiste en adquirir todos los componentes de terceros proveedores.

El único paso a tener en cuenta podría ser la programación del microprocesador de la placa, así como la de la app móvil. Sería interesante realizar este paso antes del ensamblado final, ya que el producto queda cubierto por la funda textil del cojín.

Más adelante, en el apartado de integración, se verá cómo se integra la electrónica con los sensores y con el sustrato textil de algodón.

Textil

Como se ha visto en apartados anteriores, los componentes textiles se dividen en tres partes, el sustrato de algodón, las espumas y la funda. A continuación, se analizará la producción de cada uno de estos componentes.

Es importante mencionar que, en un caso real, la mejor opción, como en el caso anterior, consiste en adquirir todos los materiales de terceros proveedores, de modo que solo haría falta integrarlos y ensamblarlos, aun así, la producción de cada uno de ellos está comprendida dentro del alcance de este trabajo.

- **Capa de algodón**

El proceso para obtener un tejido de algodón es muy extenso y complejo, pero se puede simplificar en tres etapas: la hilatura, la tejeduría y los acabados.

La hilatura es el proceso por el cual las fibras de algodón se transforman en hilos convencionales. Dicho proceso se basa en el estiraje y paralelizado de cada una de estas fibras, pasando por varias etapas de cardado, mechado, etc.

De modo que el producto final obtenido son grandes bobinas de hilo de algodón.

El segundo paso, la tejeduría, puede tomar dos caminos según el tipo de tejido que se quiera obtener; un tejido de calada o bien un tejido de malla. Como se mencionó en apartados anteriores, el sustrato de algodón se trata de un tejido de calada.

En el caso de los tejidos de calada, se disponen las bobinas de hilos en los telares de forma adecuada, ya que la disposición de los hilos para la trama (hilos horizontales) son diferentes que los hilos para la urdimbre (hilos verticales), teniendo en cuenta también el ligamento que se va a utilizar. Como se habló de un ligamento simple, como una plana, habrá un hilo de trama por cada hilo de urdimbre.

Una vez se obtiene el tejido, se puede proceder a la etapa de los acabados, donde se le aplican productos químicos para obtener el tejido deseado, bien sea con propiedades ignífugas o, simplemente se quiere blanquear el tejido. En este caso, es muy probable que se blanquee el tejido y, se corte a la medida deseada para cada talla. Durante el proceso de corte, el tejido recibirá un cosido overlock en los bordes para que no se deshilache.

De este modo, se obtiene el tejido base de algodón para la implementación de los sensores.

- **Capas de espuma**

La espuma, también nombrada gomaespuma, es un material que se obtiene a partir de una reacción química.

Se trata de la reacción entre un poliol y un isocianato, aunque dicha formulación admite y necesita múltiples aditivos para llegar al producto final que se conoce. Durante la reacción de estos dos elementos, se va formando el compuesto de la espuma y, se libera

un gas que va formando las burbujas que le dan el aspecto y las características de acolchado; se trata de dióxido de carbono.

Según la formulación empleada, se obtienen espuma más o menos densas, en función de las necesidades finales.

Una vez se ha obtenido el material, se le da la forma deseada cortándolo según las directrices especificadas por el cliente.

De este modo, se obtienen las capas de espuma, para el posterior ensamblaje del cojín.

- **Capa envolvente**

El proceso de producción de la capa envolvente, sigue el mismo desarrollo que la capa de algodón, de hecho, pasa por las etapas de hilatura, tejeduría y acabados, pero con ciertas diferencias en cada una de ellas.

En primer lugar, se dijo esta funda estaría compuesta de algodón y poliéster. Hay diversos métodos para obtener un tejido hecho de dos fibras distintas, en este caso se ha optado por la mezcla íntima.

En la fase de hilatura, es donde se produce la mezcla íntima; se mezclan los dos tipos de fibra en las cantidades adecuadas según se establezca, antes de ser hiladas. Una vez la mezcla es homogénea, se comienza el proceso de hilatura donde se estiran y se paralelizan dichas fibras mediante diversos procesos de cardado, mechado, etc.

De modo que el producto final obtenido son grandes bobinas de hilo de mezcla íntima de algodón y poliéster. En este punto, se puede decidir si que quiere teñir el hilo para obtener un producto de color o bien, se tiñe el producto final.

El segundo paso, la tejeduría, puede tomar dos caminos según el tipo de tejido que se quiera obtener; un tejido de calada o bien un tejido de malla. Como se mencionó en apartados anteriores, la funda del cojín se trata de un tejido de calada.

En el caso de los tejidos de calada, se disponen las bobinas de hilos en los telares de forma adecuada, ya que la disposición de los hilos para la trama (hilos horizontales) son diferentes que los hilos para la urdimbre (hilos verticales), teniendo en cuenta también el

ligamento que se va a utilizar. No se especificó el ligamento a utilizar, pero dependiendo de la elección la relación entre urdimbre y trama variará.

Una vez se obtiene el tejido, se puede proceder a la etapa de los acabados, donde se le aplican productos químicos para obtener el tejido deseado. Antes de aplicar dichos productos, es necesario teñir el tejido si no se ha hecho en etapas anteriores.

En este caso, el acabado aplicado se trata de un apresto ignífugo. Se pueden usar formulaciones a base de bromo, resinas de tiourea formaldehído, ésteres cíclicos fosfonatos, polivinilo de cloro y cloroparafinas, entre muchos otros. Se suele aplicar el acabado en formato de coating, es decir, aplicando una capa del acabado sobre el tejido, otorgándole de este modo, las propiedades ignífugas.

Finalmente, se corta la tela con las dimensiones adecuadas y, se realiza un cosido overlock en los bordes para que no se deshilache.

De este modo, se obtiene el tejido de la funda para el posterior ensamblado de todas las partes.

Integración

Una vez explicada la producción de cada componente individualmente, es momento de poner de manifiesto cómo se integra cada elemento descrito para componer el producto final.

El elemento central sobre el que se irán ensamblando todos los componentes es el sustrato de algodón, ya que conforma el tejido base donde se montarán el resto de elementos.

En referencia a los sensores, se puede decir que su producción y su integración están estrechamente ligados. Como ya se ha dicho anteriormente, una vez se obtiene el hilo, el sensor surge del bordado de dicho hilo (siguiendo la geometría adecuada) al sustrato de algodón, de este modo, se está produciendo e integrando simultáneamente el sensor al tejido de algodón.

Las placas son el siguiente elemento a ensamblar, ya que mantienen una estrecha relación con los sensores. Como se ha dicho anteriormente, la conexión entre los sensores y las placas se hace mediante el cosido del hilo conductor experimental, esta operación debería realizarse

manualmente, ya que es probable que las máquinas de coser y/o bordar no sean aptas para esta tarea.

Al realizar dicho cosido para la conexión entre sensores y placas, se está realizando la integración de las mismas de forma simultánea, tal y como sucede con los sensores. En este momento límite de programar las placas, ya que en las etapas de integración posteriores van a ser cubiertas por las espumas, de modo que no se podrá acceder a ellas.

Como justo de acaba de mencionar, el siguiente elemento a ensamblar, son las capas de espuma, por encima y por debajo del tejido de algodón. Cabría estudiar cómo se fijan dichas capas al tejido de algodón. Podría llevarse a cabo mediante el uso de una capa adhesiva, siempre y cuando, no se dañen los sensores ni la placa, así como las conexiones y elementos complementarios de la misma. También hay que tener en cuenta que ciertos adhesivos destruyen las espumas.

Otra opción sería la realización de diversas puntadas en lugares estratégicos que unan las tres capas en cuestión. Es una solución factible, pero faltaría comprobar si la presión que ejerce la puntada altera el funcionamiento de los sensores. En cualquier caso, se deberían realizar en puntos estratégicos del cojín para evitar que caigan en medio de un sensor.

Finalmente, solo falta colocar todo el conjunto multicapa dentro de la funda. Se trata de un ensamblaje sencillo que no presenta ninguna complicación.

Una vez repasados todos los puntos que pueden intervenir en la producción de los cojines cabe mencionar que durante dicho proceso se deberían realizar pruebas de calidad con el objetivo de comprobar el buen funcionamiento del conjunto.

Finalmente, se puede concluir que no se trata de una producción muy compleja, ya que el producto tampoco contiene muchas piezas y/o partes, del mismo modo que tampoco se necesita una gran maquinaria para llevarla a cabo, en comparación con otros productos cuya complejidad es mayor.

Análisis ambiental

Hoy en día, es indispensable la realización de un análisis ambiental con el objetivo de poder detectar cuales son los puntos fuertes, a nivel ambiental y, en que aspectos podría tratar de mejorarse.

El punto de partida consiste en analizar el ciclo de vida del producto. El ciclo de vida de los artículos textiles varía según su uso y función. En el caso de la indumentaria, se trata de ciclos cortos, pero en el caso del textil del hogar, categoría en la que entran los cojines, el ciclo de vida suele ser más largo. Este hecho tiene sentido, ya que se trata de productos con un precio más elevado.

De este modo, se puede decir que el ciclo de vida del cojín tiene una duración media-elevada, en cuanto a los componentes textiles se refiere. Faltaría realizar un análisis de "fatiga" de los sensores para determinar su vida útil, dato que determinaría la vida útil del cojín, ya que se trata del elemento principal.

Otro punto importante a tratar, es el coste de los recursos consumidos para la fabricación del producto. Se sabe que la industria textil es una de las más contaminante, debido a la gran cantidad de agua necesaria para llevar a cabo sus actividades, así como la cantidad de productos que se vierten a fuentes de agua.

Con el objetivo de intentar paliar esta situación en medida de lo posible, se puede fabricar el producto a partir de algodón y poliéster reciclado. No resuelve el problema de la contaminación genérica de la industria, pero apoya al cambio sostenible que se está dando en el contexto social, económico y cultural del momento.

En cuanto a las otras industrias que intervienen en el proceso, desde la fabricación del hilo experimental, hasta la fabricación de las espumas, pasando por la industria de la electrónica, no hay mucho que se pueda hacer para combatir sus consecuencias negativas. Simplemente se debe intentar diseñar tratando de ahorrar material, siempre y cuando sea posible.

Referente al mantenimiento del producto, solo hace falta lavar la funda cuando se crea oportuno, hecho tampoco supone un impacto ambiental elevado.

Finalmente, y para concluir este apartado, se puede dictaminar que el cojín tiene cierto impacto ambiental, debido a la diversidad de componentes, así como el grado de contaminación y gasto de recursos de las industrias de donde provienen dichos componentes.

Aun así, se pueden tomar acciones para intentar minimizar dicho impacto. El claro ejemplo, es el uso de materiales reciclados que, en el caso del cojín, serían el algodón y el poliéster, los materiales que conforman 2 de las 3 capas del componente.

Análisis de costes

Con el objetivo de completar el proyecto más allá de la fase de diseño y presentación del producto, es importante tener en cuenta todo el mundo económico que gira alrededor del producto, su fabricación y, en consecuencia, su venta.

Para realizar el análisis de costes, hay que situarse en el contexto empresarial. Por el momento, se ha desarrollado una idea de producto y, para este análisis, se extrapola a la idea de empresa que comercializa con el producto desarrollado durante todo el proyecto, los cojines sensorizados.

En este caso, es complicado dar números y valores, ya que hay partes de producto en una fase experimental que no tiene un valor establecido, de modo que resulta complejo saber que costes puede llegar a tener el producto.

Independientemente de este aspecto, el primer paso a realizar es un BOM (Bill of Materials). En otras palabras, se trata de listar todos los elementos que conforman el producto:

- Hilo conductor experimental/Sensor
- Placas y electrónica
- Dinamo
- Tejido de algodón
- Espumas
- Funda de algodón y poliéster

Una vez realizado el BOM, se pueden llevar a cabo los presupuestos, de cara al cliente. Con el objetivo de implementar el presupuesto, se implementará el concepto PPR; Producto, Proceso y Recursos. Donde el producto hace referencia a los componentes a fabricar o

conjuntos que ensamblar, el proceso corresponde al desarrollo o desarrollos necesarios para fabricar el producto y, por último, los recursos hacen referencia a todos los medios necesarios para llevar a cabo los procesos anteriores.

Antes de empezar a ilustrar el concepto de PPR, se establecen dos posibles escenarios. El primero, corresponde a los primeros meses o años de la empresa, cuando los recursos económicos son reducidos y por tanto, hay que recurrir a subcontrataciones, ya que no se dispone del capital suficiente para adquirir la maquinaria necesaria.

El segundo escenario se sitúa en un momento de estabilidad económica y, con posibilidades de inversión, de manera que, en este caso, algunos de los procesos podrán ser llevados a cabo por la propia empresa, ya que se dispone del capital necesario para adquirir la maquinaria requerida.

A continuación, se muestra el PPR en el primero de los escenarios:

Producto	Proceso	Recursos
Hilo conductor experimental	Hilado en húmedo	Proveedor
		Logística
Sensores	Bordado	Proveedor
		Logística
		Recursos humanos
		Máquina de bordar
Placas y electrónica	Mecanizado	Proveedor
		Logística
	Ensamblaje	Proveedor
		Logística
Dinamo	Mecanizado	Proveedor
		Logística

Producto	Proceso	Recursos
	Ensamblaje	Proveedor
		Logística
Tejido algodón	Tejeduría de calada	Proveedor
		Logística
Espumas	Inyección polimérica	Proveedor
		Logística
Tejido algodón y poliéster	Tejeduría de calada	Proveedor
		Logística
Producto final	Ensamblaje	Proveedor
		Logística
		Máquina de coser
		Recursos humanos
	Programación	Proveedor
		Logística
		Recursos TIC
		Recursos humanos

Tabla 24. PPR del primer escenario

En este caso, la mayoría de componentes están subcontratados, los únicos bienes materiales que se generan son el sensor, ya que en se ha decidido que la misma empresa los cree mediante el bordado y, el ensamblado final del producto, junto con su programación.

En el siguiente caso, como ya se ha comentado anteriormente, algunos de los elementos estarán producidos por la propia empresa:

Producto	Proceso	Recursos
Hilo conductor experimental	Hilado en húmedo	Proveedor
		Logística
		Hiladora en húmedo
Sensores	Bordado	Proveedor
		Logística
		Recursos humanos
		Máquina de bordar
Placas y electrónica	Mecanizado	Proveedor
		Logística
	Ensamblaje	Proveedor
		Logística
Dinamo	Mecanizado	Proveedor
		Logística
	Ensamblaje	Proveedor
		Logística
Tejido algodón	Tejeduría de calada	Proveedor
		Logística
Espumas	Inyección polimérica	Proveedor
		Logística
Tejido algodón y poliéster	Tejeduría de calada	Proveedor
		Logística

Producto	Proceso	Recursos
Producto final	Ensamblaje	Proveedor
		Logística
		Máquina de coser
		Recursos humanos
	Programación	Proveedor
		Logística
		Recursos TIC
		Recursos humanos

Tabla 25. PPR del segundo escenario

En este escenario, tanto la producción del hilo como la de los sensores, así como el ensamblaje del producto final, se llevan a cabo por la empresa. Para poder realizar dichos procesos se necesita de una inversión, de modo que en este punto es posible llevar a cabo el cálculo del ROI, es decir, el retorno de la inversión.

El primer paso consiste en determinar una serie de parámetros: los costes y su desglose, así como los ingresos.

Los costes hacen referencia al valor de la inversión que se ha hecho, que en este caso corresponde a la adquisición de la hiladora en húmedo. Al tratarse de un hilo experimental, la maquinaria utilizada no está estandarizada, de modo que se tomará el precio de un equipo parecido. Se trata de una máquina extrusora de hilos de polímero, de la marca comercial Jamei, cuyo coste es de 100000€ aproximadamente.

El siguiente paso es determinar los ingresos, que vienen dados por la venta de los cojines. Basándose en el estudio de mercado realizado anteriormente, se puede fijar un precio orientativo para el cojín, se trata de 130€/unidad aproximadamente.

A continuación, se pueden realizar los cálculos fijando como objetivo el $ROI=0$, ya que de este modo se podrán saber el número de unidades que son necesarias para recuperar la inversión y, a partir de este punto poder obtener beneficios.

$$ROI = \frac{\text{ingresos} - \text{costes}}{\text{costes}} * 100; 0 = \frac{(\text{demanda} * 130\text{€}) - 100000\text{€}}{100000\text{€}} * 100;$$

$$\text{Demanda} = 770 \text{ unidades (8)}$$

Para conocer la demanda anual, es necesario dividir la demanda obtenida anteriormente, entre el horizonte de recuperación fijado, en este caso:

$$\text{Demanda anual} = \frac{\text{Demanda total}}{\text{Horizonte}} = \frac{770 \text{ unidades}}{2 \text{ años}} = 385 \frac{\text{unidades}}{\text{año}} \text{ (9)}$$

De este modo, quedan definidos los parámetros relacionados con los costes, siempre desde un punto de vista teórico e hipotético.

Modelo de negocio

Con el objetivo de estructurar el modelo de negocio que se seguirá, se hará uso del modelo CANVAS. Dicho modelo es una herramienta de gestión, creada por Osterwalder y Pigner en 2010, que consiste en discretizar todos los elementos que tienen un peso importante en el proceso general de venta de los productos.

De este modo, el CANVAS analiza los siguientes parámetros:

- Cliente: para quién se crea valor y a quien va dirigido.
- Propuesta de valor: qué valor se ofrece y qué problemáticas resuelve.
- Canales: como se hace llegar la propuesta de valor al cliente en cuestión.
- Relación con el cliente: como se origina el vínculo entre el cliente y el producto.
- Fuentes de ingresos: qué precio tiene el producto y, qué precio está dispuesto a pagar el cliente.
- Recursos: qué activos se necesitan para llevar a cabo la propuesta de valor.
- Actividades: que procesos se necesitan para llevar a cabo la propuesta de valor.
- Asociaciones: qué socios habrá y qué aportarán.
- Costes: qué costes comporta todo el proceso.

Es importante comentar que los parámetros se presentarán de una forma gráfica más adelante. A continuación, se definirán detalladamente cada uno de los parámetros anteriores:

- **Cliente**

Como ya se ha comentado diversas veces en apartados anteriores, el cliente objetivo son los usuarios habituales de sillas de ruedas, quedarían excluidos aquellas personas que usan la silla de ruedas de forma puntual, como es el caso de algunos pacientes de hospital que son transportados mediante este medio.

- **Propuesta de valor**

Se propone un cojín sensorizado capaz de detectar malas posturas en el usuario y avisar al usuario, evitando de este modo complicaciones circulatorias o úlceras si dicha mala postura se prolonga en el tiempo. Solucionando, de este modo, un problema muy común dentro del colectivo de usuarios de sillas de ruedas.

“Se ofrece al usuario la posibilidad de evitar complicaciones en su salud mediante el uso de un cojín sensorizado conectado a su dispositivo móvil”

- **Canales**

Se llegará al usuario mediante anuncios en plataformas virtuales especializadas en el sector de la ortopedia, así como ofreciendo el producto en tiendas de la misma categoría.

No se hará uso de una tienda o punto de venta físico de la propia marca, sino que la ofrecerán terceros.

- **Relación con el cliente**

Al solventar una problemática relacionada con la salud del usuario, se crea un fuerte vínculo entre el mismo y el producto. A parte, se ofrece cierto grado de personalización a nivel dimensional del cojín, hecho que puede ganar la confianza y fiabilidad del cliente objetivo.

- **Fuentes de ingresos**

Las fuentes de ingresos, en primera instancia, provienen de los beneficios de las ventas. Teniendo en cuenta que se trata de un artículo relacionado con la salud, el cliente puede estar dispuesto a pagar una cantidad elevada, al menos en comparación con otros complementos de las sillas de ruedas.

El precio se ha fijado teniendo en cuenta los costes de fabricación, así como los precios de los competidores, estudiados anteriormente.

- **Recursos**

Los recursos principales que necesita la empresa son los mismos que los comentados en el apartado anterior, situándose en el segundo escenario, donde la fabricación del hilo también corre a cargo de la misma empresa. De este modo, los recursos requeridos son: la hiladora en húmedo, máquinas de bordar y coser, recursos TIC para la programación de las placas, logística para gestionar los recibos y las entregas y, finalmente y como es obvio, recursos humanos para que se lleven a cabo todas las actividades.

- **Actividades**

Muy ligado con el apartado anterior, las actividades que se desarrollarían en la empresa se pueden dividir básicamente en 4 fases. Primeramente, la producción del hilo conductor. Una vez se obtiene el hilo, se puede proceder a la fabricación del sensor mediante el bordado. La tercera fase consiste en la programación de la placa, para el correcto funcionamiento del sistema. Por último, la cuarta fase consiste en ensamblar todos los productos producidos, así como los adquiridos de terceros.

- **Asociaciones**

En primera instancia, no se ha pensado en crear asociaciones con el objetivo de formar una simbiosis, más allá de las subcontrataciones para el desarrollo del producto.

Si el capital de la empresa lo permite, se irán reduciendo las subcontrataciones con el objetivo de producir el producto entero para poder cerrar el ciclo productivo, excepto aquellos que ya provengan de otra marca, como en el caso de las placas.

- **Costes**

Como se ha comentado anteriormente, si la empresa dispone de una capacidad económica reducida, la mayoría de los procesos correrán a cargo de las subcontrataciones, ya que no se dispone del capital suficiente para realizar las inversiones de compra de maquinaria.

En otro escenario donde la empresa tenga más capacidad de inversión, se adquiriría la maquinaria necesaria para llevar a cabo el proceso de fabricación.

En cualquier caso, los costes provienen de las subcontrataciones o bien, de las inversiones de compra de la maquinaria, así como el coste propio de la producción en el último caso.

Una vez definidos todos los parámetros contemplados en el modelo CANVAS, se presenta la información de forma más gráfica, como se ha mencionado anteriormente.

Asociaciones: <ul style="list-style-type: none">- Subcontrataciones- Angel inversor	Actividades: <ul style="list-style-type: none">- Producción hilo- Fabricación sensor- Programación- Ensamblaje- Marketing- Logística	Propuesta de valor: <p>“Se ofrece al usuario la posibilidad de evitar complicaciones en su salud mediante el uso de un cojín sensorizado conectado a su dispositivo móvil”</p>	Relación con el cliente: <p>Producto de necesidad médica</p>	Cliente: <p>Usuario habitual de la silla de ruedas</p>
	Recursos: <ul style="list-style-type: none">- Hiladora en húmedo- Máquina bordar- Máquina coser- TIC- Logística- Humanos		Canales: <ul style="list-style-type: none">- Marketing digital	
Costes: <ul style="list-style-type: none">- Subcontrataciones- Compra de maquinaria- Costes de producción- Costes fijos (alquiler, salarios, etc.)			Fuentes de ingresos: <ul style="list-style-type: none">- Beneficios de las ventas- Artículo de salud aporta un plus de valor y aumenta el precio	

Tabla 26. Modelo de negocio CANVAS

Conclusiones

Una vez finalizada la fase de desarrollo, se pueden sacar diversos insights de cada una de las partes trabajadas.

Mediante la investigación de mercado específica, se ha podido ver el contexto en el que se sitúa el cojín sensorizado, ya que se han analizado las sillas de ruedas más comunes y sus diferencias, así como los principales accesorios que existen hoy en día. Gracias a este estudio se ha podido asegurar que el producto que se está diseñando y desarrollando no existe en el mercado, de modo que puede tener cabida y, con una buena aceptación. Si bien es cierto que existen artículos parecidos, ninguno ofrece todas las prestaciones que presenta el cojín.

El estudio de patentes, stakeholders y tendencias, han dado una visión más global del escenario actual en cuanto a sensores textiles resistivos de presión, en relación con el mundo de la ortopedia y las sillas de ruedas.

Hacer un repaso de la normativa que regula dicho mundo es de vital importancia para desarrollar un producto que acate las normas de seguridad impuestas, ya que, al fin y al cabo, benefician al usuario.

Mediante el estudio ergonómico, se ha terminado de acotar el diseño del cojín, pasando de un set de cojines para el respaldo y el culo a, simplemente, un cojín para el culo de la silla, ya que la información que podría haber aportado el respaldo no era tan importante y, hubiera ocasionado problemas en cuanto a la determinación de dimensiones.

También ha dado la información necesaria para dimensionar, tanto los sensores, como los cojines, así como la opción final adoptada del tallaje. También ha aportado información vital para posicionar los sensores dentro del cojín.

La parte más extensa, el diseño definitivo, ha servido para comprobar, desde un marco teórico e hipotético, el funcionamiento del cojín. Se ha validado que los sensores funcionan individualmente y como conjunto y también, se ha detectado un fallo en la hipótesis de detección de malas posturas que, sin este estudio no se hubiera detectado.

En este apartado se han dado las especificaciones finales del producto, ya que se han definido las dimensiones de cada talla, así como las características de los elementos textiles y electrónicos.

Cabe destacar que se debería mejorar la electrónica, ya que es posible que se pueda optimizar el sistema mediante el uso de placas con más entradas analógicas, de modo que no se necesita un número tan elevado de placas.

Referente a la producción, se han repasado todos los procesos de cada uno de los elementos que conforman el cojín y, se ha visto que en algunos casos es más fácil comprar las piezas que producirlas, como con la electrónica.

Finalmente, los tres análisis realizados, el ambiental, el de costes y el modelo de negocio, han aportado información complementaria de un carácter más empresarial. Pero se recuerda que toda la información dada es de carácter teórico, de modo que es muy probable que en un caso real los resultados obtenidos difieran bastante de la realidad.

Para terminar, se puede decir que el estudio global realizado ha sido extenso, se ha profundizado más en algunos aspectos que en otros, ya que el alcance del proyecto lo ha requerido.

Aun así, se puede concluir con que el hilo conductor experimental parece viable para realizar un sensor textil de presión y, el producto diseñado y desarrollado a partir de dichos sensores podría tener un próspero futuro.

PRESUPUESTO

Una vez finalizado el proyecto, es importante estudiar el coste del mismo. El presupuesto es la suma total de recursos económicos asignados a la realización de un proyecto actividad. La elaboración de este paso sentará las bases para determinar los beneficios que se quieren conseguir mediante la realización del proyecto o actividad.

En este caso, se dividirá el presupuesto en dos partes. Por un lado, se englobará toda la inversión dedicada a programas y softwares informáticos necesarios para la realización del proyecto.

Por otro lado, se tendrá en cuenta los recursos humanos dedicados al proyecto y, su traducción en coste.

A continuación, se muestra la tabla de presupuesto para el software utilizado durante el proyecto:

Software	Alquiler	Tiempo utilización	Coste licencia
SolidWorks Premium	1680€/3 meses	1 mes	560€
CST Studio Suite	86380€/12 meses ⁴	2 meses	14397€
Office Professional	579€	6 meses	579€
Total			15536€

Tabla 27. Presupuesto del software empleado

Durante la realización del proyecto se han usado diversos softwares, en concreto, SolidWorks, CST Studio Suite y el pack Office. Cada uno de ellos ha tenido una función en el proceso: SolidWorks sirvió para el diseño de los sensores, así como el del cojín, el CST Studio Suite ha sido indispensable para realizar todas las simulaciones de los sensores y cojines y, finalmente se ha utilizado el pack Office durante todo el proceso, para redactar la información recopilada (Microsoft Word), así como para algunos cálculos (Microsoft Excel).

⁴ Se hace referencia al coste de una licencia industrial

A continuación, se muestra la tabla de presupuesto para los recursos humanos:

Actividad	Duración	Coste	Coste Total
Investigación	2 meses	30€/h	9600€
Testing	2 meses	35€/h	11200€
Diseño	1 mes	30€/h	4800€
Desarrollo	1 mes	30€/h	4800€
Total			30400€

Tabla 28. Presupuesto de los recursos humanos necesarios

Considerando una dedicación de 160 horas al mes, que equivale a 8 horas al día durante 5 días.

El coste total del proyecto será la suma de ambos presupuestos:

Presupuesto total = 15536+30400 = **45936€**

Cabe mencionar que este presupuesto está libre de impuestos.

CONCLUSIONES

El mundo de los textiles y, en concreto, de los textiles inteligentes, ha evolucionado mucho en los últimos años, además de presentar una fuerte tendencia de crecimiento.

Cada vez es más habitual que se combine la tecnología electrónica con elementos textiles, ya que la fusión de ambos mundos permite obtener ciertos artículos o productos con unas propiedades únicas.

A lo largo de este proyecto se ha trabajado para buscar la viabilidad de la fusión de estos dos mundos, el electrónico y el textil, en un caso muy concreto. En su momento, se dio la oportunidad de poder trabajar con un hilo conductor experimental, que presentaba cierto potencial para ser integrado en un textil inteligente. Dicho hilo reúne ciertas propiedades de un hilo convencional y, ciertas propiedades eléctricas que lo hacen apto para que actúe con esta dualidad.

Ha sido necesario llevar a cabo diversos estudios para determinar si el hilo se podía actuar como un sensor funcional e implementable, siempre desde un enfoque teórico y jugando con posibles hipótesis, debido a la situación de pandemia actual.

Pero los resultados han sido positivos y alentadores, al menos en las simulaciones. Mediante el bordado de dicho hilo se ha podido crear un sensor textil resistivo de presión, ya que según las propiedades y características que presenta el hilo, era el más adecuado.

De este modo, se ha cumplido el primero de los objetivos, que se basaba en la determinación de la viabilidad de producir algún tipo de sensor usando el mencionado hilo conductor experimental.

Mediante este estudio, se ha contribuido, en mayor o menor medida, a que este avance hacia un mundo donde los textiles inteligentes tengan un peso importante y sean realmente útiles y funcionales, sea posible (siempre hablando desde un punto de vista puramente teórico y especulativo).

En cuanto a la parte de diseño, se ha visto que existen numerosos casos donde la implementación de tejidos inteligentes podría aportar valor al usuario que, al fin y al cabo, es lo que se busca cuando se está diseñando un producto.

Como en el estudio del hilo y, en consecuencia, del sensor, han hecho falta numerosos tipos de estudios para poder llegar a una solución razonable i coherente.

Cabe recalcar que, en este proyecto, la elección final ha sido el cojín, pero cualquier otro producto de los propuestos también podría haber sido una buena opción, ya que el diseño ha sido coherente en todos ellos, como justo se acaba de mencionar.

Mediante el desarrollo del producto incorporando el sensor textil fabricado a partir del hilo experimental, se ha cumplido el segundo objetivo del trabajo, que consistía esencialmente en diseñar un producto que incorporara dicho sensor.

A título personal, hay ciertos puntos a recalcar. En primer lugar, este proyecto se presentaba como un trabajo con una parte práctica y experimental muy potente, donde se deberían haber hecho todo tipo de pruebas con el hilo que hubieran dado información de vital importancia para el futuro desarrollo del proyecto, pero se ha visto frustrado por la situación de COVID-19, que se está viviendo actualmente.

Muy a pesar de esto, se intentado reconducir y adaptar la estructura del trabajo a dicha situación, optando por la realización de hipótesis y simulaciones en lugar de toda la parte experimental y, trasladando de este modo, un proyecto experimental a un campo totalmente teórico, si bien se han considerado aspectos prácticos vía simulación.

No es que dicho traslado sea malo, ni mucho menos, pero ha faltado esta parte empírica para comprobar los datos que se han ido obteniendo de las simulaciones e hipótesis, de modo que la culminación del trabajo hubiera sido mucho más visual y tangible.

Aun así, dicha situación también ha aportado puntos buenos al proyecto, ya que la dedicación ha sido mayor y, ha permitido abarcar campos que en el trabajo experimental no se hubieran tocado.

Para terminar, es importante recalcar que los resultados obtenidos, tanto del estudio del hilo, como del desarrollo del cojín han sido positivos. Se ha proyectado un artículo textil inteligente

que resuelve una problemática real y, que puede ayudar al usuario. De modo que se puede decir que el resultado es satisfactorio.

Adicionalmente, también se puede decir que se han integrado conocimientos adquiridos a lo largo de la etapa universitaria, tanto de la vertiente textil, como la de diseño que, al fin y al cabo, es el objetivo de la realización de trabajo de final de grado.

FUTURAS MEJORAS

Partiendo de la base que se ha trabajado sobre datos e hipótesis teóricas, es complicado proponer futuras mejoras, ya que no se ha probado la eficacia real del dispositivo de un modo empírico, simplemente se han realizado simulaciones según los datos de los que se contaba.

De bien seguro que, de haber tenido la posibilidad de realizar un modelo, habrían salido fallos y errores que se hubieran ido solucionando sobre la marcha.

A pesar de lo anterior, si que hay aspectos que se pueden mejorar teniendo en cuenta solo lo que se ha hecho. Es el caso de la hipótesis de detección de malas posturas. Mediante las simulaciones se vio que en algunos escenarios fallaba, de modo que la primera mejora a aplicar al dispositivo consiste en mejorar dicha hipótesis.

También surge el caso de las placas base, como se ha comentado anteriormente, con la idea actual y la placa seleccionada, se necesitan diversas placas para poder recoger toda la información proveniente de los sensores. Cabría estudiar cómo afectaría la implementación de un multiplexor al sistema con el objetivo de reducir el número de placas necesario. También se podrían utilizar placas más grandes, como es el caso de la placa Arduino Mega, que cuenta con suficientes entradas para todos los sensores. Al escoger esta última opción, se tendría que adaptar el diseño del cojín, para que la placa quedará protegida y pudiera llevar a cabo su función.

Mediante estas dos propuestas, se podría mejorar el funcionamiento del cojín. Pero volviendo al punto principal, sería muy interesante poder realizar un prototipo físico para determinar el correcto funcionamiento del producto y, corregir, en caso que sea necesario, los posibles problemas que vayan surgiendo sobre la marcha.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Paracha, K., Rahim, S., Soh, P., Khalily, M. (2019). Wearable Antennas: A Review of Materials, Structures, and Innovative Features for Autonomous Communication and Sensing, *IEEE Access*
- [2] Tao, X. (Ed.). (2015). Handbook of Smart Textiles. Hong Kong, China: Springer Science+Business Media Singapore
- [3] Bekaert. (2019). *Steel wire transformation and coatings*. [online] Available at: <https://www.bekaert.com/>
- [4] Hong, J., Hu, C., Jin, L., Han, X., Yao, J., Gil, I. (2019). Conductive polyaniline-coated poly(p-phenyleneterephthamide) yarn-reinforced multiaxial composites for electromagnetic shielding, *Journal of Industrial Textiles*
- [5] Norma Española UNE 40600-5 (1996). Textiles, Tejidos, Construcción, Métodos de análisis, Parte 5: Determinación de la densidad lineal (número o título) de los hilos de un tejido. AENOR
- [6] Norma Española UNE 2060 (1996): Textiles, Hilos arrollados, Determinación de la masa lineal (masa por unidad de longitud) por el método de la madeja. AENOR
- [7] CST Studio Suite. (2020). High-performance 3D EM analysis software package for designing, analysing and optimizing electromagnetic components. [online] Available at: <https://www.3ds.com/products-services/simulia/products/cst-studio-suite/>
- [8] Smartex. (2019). *Camisetas y camisas antimanchas, Tejido inteligente*. [online] Available at: <https://smartextstyle.com/>
- [9] Aitex. (2019). *Instituto Textil y Laboratorios. Generamos conocimiento tecnológico*. [online] Available at: <https://www.aitex.es/>
- [10] Ecus Sleep. (2020). *Mattresses & Rest*. [online] Available at: <https://ecussleep.com/en/>

- [11] SmartLife. (2019). *Smart Clothing Gamification to promote Energy-related Behaviours among Adolescents*. [online] Available at: <https://www.smartlifeproject.eu/>
- [12] Siren. (2019). *Socks & Foot Monitoring System*. [online] Available at: <https://siren.care/>
- [13] Sensoria. (2020). *Fitness garments monitor heart rate with embedded technology for the most effective workout*. [online] Available at: <https://www.sensoriafitness.com/>
- [14] Kirstein, T. (2004). EP1605240A1. Alemania, Múnich: European Patent Office
- [15] Seitz, P. (2012). US9733136B2: United States Patent
- [16] Sarrafzadeh, M. (2012). US9271665B2: United States Patent
- [17] Tao, X. (2005). US7544627B2: United States Patent
- [18] Tao, X. (2010) US8393229B2: United States Patent
- [19] RGK Wheelchairs. (2019). *Manual Wheelchair, Wheelchair Sports*. [online] Available at: <https://rgkwheelchairs.com/>
- [20] Quickie Wheelchair. (2019). *Wheelchairs, Cushions and Accessories*. [online] Available at: <https://www.quickie-wheelchairs.com/>
- [21] Sunrise Medical. (2019). *Sillas de ruedas, grúas y scooter eléctricos*. [online] Available at: <https://www.sunrisemedical.es/>
- [22] Magic Mobility. (2020). *Australian company that manufactures all terrain electric wheelchairs so people can go where they want and live the life they choose*. [online] Available at: <https://www.magicmobility.com.au/>
- [23] Ubiotex. (2019). *Fabricante Europeo de Productos Ortopédicos*. [online] Available at: <https://ubiotex.com/es/>
- [24] Núbolo. (2020). *Smart Cushion*. [online] Available at: <https://nubolo.com/es/>
- [25] Golriz, B. (2001). US6386201B1: United States Patent
- [26] Delicia, P. (1999). US6081949A: United States Patent
- [27] Joong, J. (2008). US20100145167A1: United States Patent
- [28] Davison, Z. (2007). US7567181B1: United States Patent

- [29] Mondelo, P. R., Gregori, E., Barrau, P., (1999). *Ergonomía 1 Fundamentos*, Barcelona, España: Mutua Universal
- [30] Biomech-Solutions. (2019). *Ofrecemos soluciones de medida y análisis biomecánico para estudios y aplicaciones*. [online] Available at: <https://www.biomech-solutions.com/>
- [31] Arduino. (2020). *Open-source electronic prototyping platgorm enabling users to create interactive electronic objects*. [online] Available at: <https://www.arduino.cc/>
- [32] Adafruit. (2020). *Unique & fun DIY electronics and kits*. [online] Available at: <https://www.adafruit.com/>
- [33] Bon Drap. (2019). *Tejidos para decoración, cortinas, visillos y tapicería*. [online] Available at: <https://www.bondrap.com/>

